



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL  
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

KILMA FELICYA PEREIRA DA SILVA

**MICROPARTÍCULAS CONTENDO  $\beta$ -CAROTENO APLICADAS EM  
COBERTURAS COMESTÍVEIS PARA FRUTAS MINIMAMENTE  
PROCESSADAS**

JOÃO PESSOA – PB

2014

KILMA FELICYA PEREIRA DA SILVA

**MICROPARTÍCULAS CONTENDO  $\beta$ -CAROTENO APLICADAS EM  
COBERTURAS COMESTÍVEIS PARA FRUTAS MINIMAMENTE  
PROCESSADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à banca examinadora do  
Departamento de Tecnologia de Alimentos,  
do Centro de Tecnologia e  
Desenvolvimento Regional da Universidade  
Federal da Paraíba, como requisito  
obrigatório à obtenção do título de  
Tecnólogo de Alimentos.

**Orientador:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Luiza Mattos  
Braga

JOÃO PESSOA – PB

2014

KILMA FELICYA PEREIRA DA SILVA

**MICROPARTÍCULAS DE  $\beta$ -CAROTENO APLICADAS EM  
COBERTURAS COMESTÍVEIS PARA FRUTAS FRESCAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à banca examinadora do  
Departamento de Tecnologia de Alimentos,  
do Centro de Tecnologia e  
Desenvolvimento Regional da Universidade  
Federal da Paraíba, como requisito  
obrigatório à obtenção do título de  
Tecnólogo de Alimentos.

Aprovado pela banca examinadora em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

  
Presidente da Banca Examinadora

  
Examinador 01

  
Examinador 02

S586m Silva, Kilma Felicya Pereira da.

Micropartículas contendo  $\beta$ -caroteno aplicadas em coberturas comestíveis para frutas minimamente processadas. [recurso eletrônico] / Kilma Felicya Pereira da Silva. – 2014.

91 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Ana Luíza Mattos Braga.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia de Alimentos) – CTDR/UFPB.

1. Microencapsulação. 2. Caroteno. 3. Coberturas comestíveis. 4. Cenoura. I. Braga, Ana Luíza Mattos. II. Título.

CDU: 664.8

Catálogo na Publicação (CIP)  
Biblioteca Setorial do CTDR/UFPB, PB, Brasil  
Maria José Rodrigues Paiva – CRB 15/387

*A Deus em primeiro lugar.*

*A minha mãe Maria Goretti, que não desistiu em momento algum de incentivar a minha formação, por todo o amor, carinho e ajuda.*

*Ao meu querido e amado esposo Diêgo Fernandes que se manteve sempre presente tanto nos bons quanto nos maus momentos, me apoiando sempre que necessário e adiando seus sonhos para realização dos meus.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por mais uma conquista, sem ele isso não seria possível, sem ele eu não posso viver. Obrigada Senhor, pois nos momentos mais difíceis tu me acolheste em teus braços e me consolaste.

A minha mãe Maria Goretti, por todo amor, carinho, preocupação, amizade, por tudo que passamos juntas, por toda dedicação, por acreditar em mim, por sempre me incentivar e me dizer que eu sou capaz.

A meu querido e amado esposo Diêgo Fernandes, por todo amor, carinho, paciência, apoio, companheirismo, por acreditar em mim e me ajudar.

A minha irmã Kiscya Thereza que sempre me apoiou e me incentivou durante toda minha caminhada.

A minha orientadora Dr. Ana Luiza Mattos Braga por toda ajuda, compreensão, por todas as broncas, por todas as gargalhadas, por acreditar no meu trabalho, por se preocupar comigo, por me aconselhar e por ter me presenteado com sua preciosa amizade.

A Universidade Federal da Paraíba e ao Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional que me acolheu durante toda a graduação.

Aos maravilhosos momentos com todos os amigos, em especial Jussara Santana, Renata Batista, Sophia Loren, George Araújo, Malanna Kauanne, Liana Santos, Wesley Ferreira e Albert Einstein, pela ajuda, atenção e companheirismo durante este tempo em que passamos juntos.

A minha amiga Jussara Santana, pela ajuda em todos os trabalhos, provas, seminários, pelo companheirismo, por todos os momentos que passamos juntas, momentos estes de alegrias e aflições, mas sempre encarando a vida com bom humor.

A Malanna Kauanne, Liana Santos, Valndilson Galdino, Jessica Ferreira e Ruthchelly por toda ajuda, amizade, colaboração e por momentos de alegria e de grandes gargalhadas em meio a tanta preocupação.

Aos técnicos de laboratório João Bosco, Cláudia Gouveia, Gisleania, Erivelto e Diêgo por toda colaboração, amizade e dedicação durante a realização deste trabalho.

A todos os professores, pelo profissionalismo, atenção, dedicação e compreensão durante toda a graduação.

A professora Graciele Campelo, pela amizade, pelas broncas, atenção, incentivo, profissionalismo, dedicação e pela ajuda durante a graduação.

A professora Carolina Albuquerque, por toda dedicação, ajuda e por não permitir que eu esqueça o que é transferência de calor e massa.

A professora Fernanda Vanessa que sempre me incentivou durante a graduação a não desistir dos meus objetivos, por toda amizade e carinho.

A banca examinadora, pelo trabalho, profissionalismo e compreensão.

A todos agradeço profundamente.

*“Tendo sido, pois, justificados pela fé, temos paz com Deus, por nosso Senhor Jesus Cristo; pelo qual também temos entrada pela fé a esta graça, na qual estamos firmes, e nos gloriamos na esperança da glória de Deus; e não somente isto, mas também nos gloriamos nas tribulações; sabendo que a tribulação produz a paciência; e a paciência a experiência, e a experiência a esperança; e a esperança não traz confusão, porquanto o amor de Deus está derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado”.*

(Romanos 5:1-5)



## RESUMO

A microencapsulação é uma técnica para recobrimento de substâncias ativas podendo aumentar a disponibilidade dos compostos durante o processamento e armazenamento, melhorar a estabilidade destes compostos e promover a liberação controlada dentro do trato gastrointestinal. As tecnologias de microencapsulação vêm há pelo menos 15 anos sendo amplamente desenvolvidas nos centros de pesquisas de diversas empresas multinacionais da área de alimentos. Isto demonstra que esta é uma ciência aplicada, que sai do papel para a mesa do consumidor e para o seu organismo, podendo efetivamente fazer um diferencial na prevenção de doenças. A escolha do método de encapsulação para uma aplicação específica depende de uma série de fatores, como: tamanho de partículas requerido, propriedades físico-químicas do ativo e da partícula produzida, mecanismo de liberação do ativo, processo de manufatura do produto e custo. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho identificar as tecnologias mais promissoras para encapsulação de carotenoides pró-vitamina A da cenoura, bem como desenvolver e aplicar a tecnologia que se mostrar mais adequada. A identificação das tecnologias foi feita utilizando-se a metodologia “Retro-Design”. Cujo desenvolvimento de um ingrediente encapsulado é um resultado de uma pré-análise cuidadosa da aplicação desejada com relação a: 1) benefício esperado ao consumidor, 2) mercado consumidor alvo, 3) processo de produção do alimento e seus princípios físicos, incluindo a ciência dos materiais, físico-química e biofísica e 4) características do produto alimentício, por exemplo, vida-de-prateleira do produto. Como parte experimental deste trabalho foram produzidas farinha de cenoura, bem como partículas de  $\beta$ -caroteno pelo método de gelificação iônica. Após a produção das micropartículas foram feitas análises para determinar a eficiência da encapsulação. Quatro tipos de micropartículas foram utilizadas para fins comparativos: gelificação iônica (produzida), coacervação complexa (comercial), lipídeos sólidos (comercial) e farinha de cenoura (produzida, mas não é tecnologia de encapsulação). As partículas produzidas e comerciais foram adicionadas em coberturas comestíveis a base de fécula de mandioca e aplicadas em morangos para verificar o efeito das partículas sobre o aspecto visual, cor e textura do fruto. A metodologia “Retrosdesign” mostrou ser uma excelente ferramenta, tendo sido identificadas quatro possíveis tecnologias: gelificação iônica, coacervação, lipídeos sólidos e polimerização interfacial. Foi desenvolvido microgéis a partir de suco de cenoura e solução de alginato. A concentração adequada do biopolímero foi de 1% para produção de partículas menores do que 80  $\mu\text{m}$ . Obteve-se entre 67-100% de eficiência de encapsulação por este método. A utilização de micropartículas produzidas por gelificação iônica ou lipídeos não conferiu areosidade ao produto e apresentaram-se homogeneamente distribuídas na cobertura comestível. Na análise de cor e textura, todas as amostras em todos os tratamentos não apresentaram diferença significativa, exceto com relação a luminosidade da superfície do morango. Para esta propriedade, a cobertura sem partículas e a cobertura com microgéis (translúcidos) apresentaram uma maior luminosidade do que amostras de fruta fresca e com coberturas contendo micropartículas opacas.

**Palavras-chave:** Microencapsulação,  $\beta$ -caroteno, coberturas comestíveis, frutas.

## ABSTRACT

Microencapsulation is a technique for entrapment of bioactive compounds aiming at its protection against degradation, increasing its bioavailability, and stability during processing and shelf-life, as well as controlling the delivery of the bioactive in the gastro-intestinal track. Since at least 15 years, microencapsulation technologies are being developed in several research centres from the biggest food companies. This shows that encapsulation is an applied Science, which goes from the paper to the laboratories to the supermarket shelves and finally to the human body. Therefore, this technology can effectively be used for preventing several human diseases. The choice of encapsulation technology to be used or developed depends on several factors: required mean particle size, the physic-chemical properties of the bioactive compound and of the final ingredient, the mechanism for bioactive release, the food production process and the costs. The aim of this work was to identify the most promising Technologies for encapsulating pro-vitamin A carotenoids from carrots, as well as to develop and apply on fresh fruits those Technologies. Using the retro-design approach the most promising Technologies were identified. A careful analysis of the problem is done considering the intended consumer benefit, the target market, the food production process and the food product characteristics. Then, the technical requirements (ingredient physical state, barrier properties, release triggers, dosage in the food product) for the encapsulation system are defined. This in turn allows one to select the feasible encapsulation technologies, taking into account additional factors such as local legislation. For the experimental part of the present work, we have produced carrot flour and  $\beta$ -carotene particles by the ionic gelation technology. Bioactive encapsulation efficiency was determined experimentally using a spectrophotometer method. The four most promising encapsulation technologies were applied to manioc edible coatings, which in turn was applied to minimally processed strawberries. Then it was studied the effect of the type of particle over the visual appearance, colour and texture of the fruits. In that second part of the study, four types of particles were used: 1) microgels (produced in the lab); 2) coacervated particles (commercial); 3) lipid solid particles (commercial); 4) carrot flour (produced in the lab, although it is not an encapsulation technology). The retro-design approach revealed to be an excellent tool for identifying feasible encapsulation technologies for solving a well defined problem. Four technologies were identified as most promising: ionic gelation, complex coacervation, solid lipid nanoparticles and interfacial polymerization. Microgels were developed by using carrot aqueous extract and alginate solutions. Particles with means size lower than 80  $\mu\text{m}$  were produced when alginate content was 1%. Those particles showed a beta-carotene encapsulation efficiency of 67-100%. The microgels or the lipid particles were homogeneously distributed in the edible coatings and did not bring roughness to the surface of the coated fruit. Color and texture of the coated fruits were not affected by the presence of particles. However, the brightness of the coated fruits was higher for samples containing microgels as compared to the other particles. This was due the opacity of the coacervates and the lipid particles.

**Palavras-chave:** Microencapsulation,  $\beta$ -carotene, edible coatings, minimally processed fruits.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química dos carotenoides mais encontrados em alimentos.....	24
Figura 2 – Funções das tecnologias de encapsulação sobre produtos alimentícios. ....	27
Figura 3 - Pilares para produção e aplicação de tecnologias de encapsulação em produtos. ....	28
Figura 4 - Alguns modelos de microcápsulas. (A): matriz (microsfera); (B): microcápsula simples; (C): simples, irregular; (D): duas paredes; (E): vários núcleos; (F): agrupamento de microcápsulas.....	29
Figura 5 - Espaço de cor CIELab. ....	34
Figura 6 - Biofilme com partículas em incubadora B.O.D.....	40
Figura 7 - A) Biofilme com 0,3% de vitamina A; B) Biofilme com 0,5% de vitamina A; C) Biofilme com 0,7% de vitamina A. ....	44
Figura 8 - Processamento de farinha de cenoura. A) Processo de Fatiamento; B) Cenouras fatiadas; C) Secagem das cenouras em estufa; D) Cenouras secas; E) Moagem das cenouras secas; (F) Obtenção da farinha de cenoura. ....	58
Figura 9 - Pulverizador de alta pressão. ....	60
Figura 10 - Produção de microgéis por gelificação iônica. A) Preparo das emulsões; B) Pulverização da emulsão ou do suco de cenoura com alginato; C) Obtenção dos microgéis; D) Filtragem dos microgéis. ....	61
Figura 11 - Fluxograma do Processamento mínimo dos Morangos enriquecidos com beta-caroteno. ....	62
Figura 12 - Processamento mínimo dos Morangos enriquecidos com beta-caroteno. A) Secagem dos morangos selecionados e lavados; B) Imersão dos morangos na cobertura; C) Drenagem da cobertura.....	63

Figura 13 - Microgéis de alginato contendo beta-caroteno. A) Produzidas pelo método de gotejamento; B) Produzidas pelo método de pulverização.....	68
Figura 14 - Partículas óleo:solução de alginato produzidas pelo método de gotejamento. ....	68
Figura 15 - Partículas de WPI (desnaturada) produzidas pelo método de gotejamento.	69
Figura 16 - Microscopia dos microgéis. ....	70
Figura 17 - Aspecto visual de morangos em diferentes tratamentos. A) Morango fresco sem biofilme; B) Morango com biofilme; C) Morango com biofilme adicionado de micropartículas de $\beta$ - caroteno encapsuladas pelo método de gelificação iônica; D) Morango com biofilme. ....	72
Figura 18 - Ensaio de punção: variação da Força com a deformação de morangos minimamente processados. ....	74
Figura 19 - Efeito das coberturas comestíveis com partículas produzidas por diferentes tecnologias de encapsulação sobre a firmeza (força de penetração em N) de morangos minimamente processados. ....	75
Figura 20 - Efeito das partículas produzidas por diferentes métodos de encapsulação adicionadas em coberturas comestíveis sobre os parâmetros de cor. A) Parâmetros primários L, a*, b*; B) Parâmetros calculados delta E, H*, C*. ....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição nutricional de 100 gramas de raízes de cenoura crua.....	22
Tabela 2 - Ingestão Diária Recomendada para Lactentes, Crianças e Adulto.....	25
Tabela 3 - Fases de um projeto de encapsulação (P & D).....	37
Tabela 4 - Guia para descrição do projeto de encapsulação.....	38
Tabela 5 - Priorização de Tecnologias de Encapsulação para avaliação / desenvolvimento.....	39
Tabela 6 - Resultado da descrição do projeto de encapsulação.....	41
Tabela 7 - Caracterização dimensional de onze morangos minimamente processados.	45
Tabela 8 - Resumo das características das Tecnologias de Encapsulação mais comuns. .....	47
Tabela 9 - Resultado da priorização de tecnologias de encapsulação para avaliação / desenvolvimento.....	50
Tabela 10 - Produção de microgéis por gelificação iônica com diferentes emulsões. ...	66
Tabela 11 - Resultados da quantificação de $\beta$ -caroteno por análise espectrofotométrica. .....	70

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM CAPÍTULOS.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO 1. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1 Cenoura.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 Carotenóides .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 Microencapsulação.....</b>	<b>26</b>
<b>1.4 Biofilmes ou Coberturas Comestíveis .....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.1 Adição de compostos bioativos em filmes e coberturas comestíveis.....</b>	<b>32</b>
<b>1.5 Análises físicas de frutas envoltas por coberturas comestíveis .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO 2. Aplicação do Modelo Retrodesign para identificação das     tecnologias de encapsulação .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.1 Material.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.2 Metodologia “Retrodesign” aplicada para encapsulação.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3 Definição da concentração ótima de micropartículas em biofilmes .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.1 Público alvo / Mercado consumidor .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.2 Benefícios ao consumidor alvo .....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.2.1 Determinação da concentração de micropartículas no biofilme .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.2.2 Determinação da concentração de <math>\beta</math>-caroteno nas micropartículas .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.3 Processo de Produção de Alimentos .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.4 Características do produto final .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3.5 Identificação das tecnologias promissoras para encapsulação de <math>\beta</math>-caroteno.....</b>	<b>47</b>

<b>CAPITULO 3. Desenvolvimento de tecnologias de encapsulação e seus efeitos sobre as propriedades físicas de morangos minimamente processados .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.1 Material.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.2 Experimental .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.2.1 Extração hidrofílica do <math>\beta</math>-caroteno d cenoura .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.2.2 Extração hidrofóbica do <math>\beta</math>-caroteno d cenoura .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.2.3 Farinha de cenoura.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.3 Preparo das soluções .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.3.1 Solução de alginato .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.3.2 Solução de cloreto de cálcio .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.3.3 Solução de proteína desnaturada .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.3.4 Cobertura comestível a base de fécula de mandioca .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.4 Preparo das emulsões.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.5 Produção de micropartículas .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.5.1 Gelificação iônica .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.6 Microscopia dos microgéis .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.6.1 Aplicação de cobertura comestível enriquecida com <math>\beta</math>-caroteno sobre morangos minimamente processados .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.6.1.1 Preparo da matéria-prima.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.6.1.2 Tratamentos.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.7 Análises Físicas .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.7.1 Eficiência de encapsulação .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.7.2 Determinação das propriedades mecânicas .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.7.3 Cor.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.1 Viabilidade de produção de microgéis contendo <math>\beta</math>-caroteno de cenoura.....</b>	<b>65</b>

<b>3.3.2 Microscopia dos microgéis .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.3 Eficiência de Encapsulação do <math>\beta</math>-caroteno.....</b>	<b>70</b>
<b>3.3.4 Aplicação de coberturas comestíveis contendo micropartículas sobre           morangos minimamente processados .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.4.1 Caracterização visual .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.4.2 Propriedades mecânicas .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3.4.3 Cor.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 CONCLUSÃO .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>81</b>



## INTRODUÇÃO

A falta de acesso à alimentação e, por consequência, a fome e a subnutrição têm sido causa da morte de milhares de pessoas nas mais variadas partes do planeta. Enquanto isso, pesquisas revelam que a quantidade de alimentos produzidos e disponíveis no mundo é mais do que suficiente para suprir as necessidades mínimas de todos os seres humanos (MARTINS; FARIAS, 2003).

Dentre as deficiências de micronutrientes, a hipovitaminose A passou a ocupar um papel bem mais relevante tanto no campo dos estudos epidemiológicos, como no da formulação e gestão de políticas públicas de saúde, alimentação e nutrição (SANTOS, 2002). A hipovitaminose A ainda é um grande problema de saúde pública em vários países em desenvolvimento, inclusive no Brasil. A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece que a deficiência de vitamina A (DVA) afeta, em nível mundial, aproximadamente 19 milhões de mulheres grávidas e 190 milhões de crianças em idade pré-escolar (OMS, 2011). A deficiência de vitamina A pode se manifestar como deficiência subclínica ou como deficiência clínica e nos casos mais graves pode levar à cegueira parcial ou total (BRASIL, 2013).

Até a segunda metade da década de 1980, a deficiência de vitamina A causava preocupação apenas em relação a seus sinais clínicos, que vão desde a cegueira noturna até a cegueira nutricional irreversível. Na segunda metade dessa década, surgiram evidências de que a carência sub-clínica da vitamina A, sem sinais como xeroftalmia, também pode contribuir para a morbidade e mortalidade em crianças, recém-nascidos e mulheres em idade fértil e nutrízes, os grupos tradicionalmente considerados de risco (RAMALHO et. al, 2002).

A vitamina A é uma vitamina lipossolúvel, constituinte do grupo de substâncias orgânicas com estrutura variada, solúveis em solventes orgânicos e sem valor energético, que o organismo ou não sintetiza ou o faz em quantidade insuficiente. São necessárias em quantidades mínimas e são fornecidas pelos alimentos, os quais são de origem animal e vegetal. O armazenamento da vitamina A se dá predominantemente no fígado e ela se origina de dois grupos de compostos: os carotenoides pró-vitamina A, provenientes dos alimentos de origem vegetal e o retinol ou vitamina A pré-formada, encontrada nos alimentos de origem animal (RONCADA, 1998).

A cenoura é rica em carotenoides pró-vitamina A, é considerada um alimento funcional, pois além de compor a lista de raízes ricas em nutrientes da alimentação básica, seu consumo beneficia uma ou mais funções do organismo e, desta forma, contribui com o estado de saúde e bem-estar, podendo amenizar riscos de doenças, quando consumida em quantidades e intensidade regulares (MORETTI et al., 2007). O conteúdo de carotenoides, nível de terpenoides, fenóis e teor de sólidos solúveis estão relacionados com a qualidade das raízes da cenoura. Os carotenoides têm sido avaliados por suas propriedades como agentes antioxidantes, relacionados à prevenção de algumas doenças e retardamento do envelhecimento, e também pelo seu valor nutricional como provitamina A (LANA; VIEIRA, 2000).

Diante do exposto, urge a necessidade de colocar em prática estratégias e ações que atenuem, efetivamente, os desvios nutricionais da população. O enriquecimento nutricional de uma maior gama de alimentos que são consumidos em diferentes refeições pode ser um caminho a ser seguido. O crescimento das exigências dos consumidores por alimentos mais saudáveis faz com que a indústria de alimentos busque inovações nas formulações alimentícias, principalmente em relação aos componentes bioativos, como por exemplo, o  $\beta$ -caroteno (TONIAZZO, 2013). No entanto, o enriquecimento nutricional em alimentos é muito complexo devido às diversas reações indesejáveis que podem ocorrer entre os nutrientes e a matriz do alimento. Uma alternativa para superar este problema é a encapsulação dos nutrientes.

Atualmente, os estudos de encapsulação na área alimentícia têm focado a incorporação de compostos bioativos que promovam benefícios à saúde do consumidor para o desenvolvimento dos produtos chamados nutracêuticos ou funcionais (LAMBERT et al., 2008). A microencapsulação não só aumenta a disponibilidade dos compostos durante o processamento e armazenamento, mas pode melhorar a estabilidade destes compostos e promover a liberação controlada dentro do trato gastrointestinal (CHAMPAGNE & FUSTIER, 2007).

As técnicas de microencapsulação ou nanoencapsulação vêm sendo aplicadas em coberturas comestíveis, estas coberturas também podem conter compostos ativos ou nutrientes que apresentem um efeito positivo sobre a saúde, os materiais da cobertura atuarão como portadores desses compostos bioativos para serem transportados para

locais alvos, tais como o intestino, sem perder a sua atividade (FALGUERA et al., 2011).

Há algum tempo se vem estudando a aplicação de microcápsulas sobre coberturas comestíveis com diversos objetivos, mas a aplicação de carotenoides provitamínicos nestas coberturas, visando o enriquecimento de frutas apresenta-se escasso na literatura.

## **OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi identificar, desenvolver e aplicar as tecnologias mais promissoras para encapsulação de carotenoides pró-vitamina A da cenoura em coberturas comestíveis para envolvimento de frutas minimamente processadas.

Os objetivos específicos do trabalho estão descritos a seguir:

- Identificar as tecnologias mais promissoras para encapsulação de carotenoides pró-vitamina A da cenoura utilizando a metodologia “Retro-design”.
- Produzir partículas contendo carotenóides pró-vitamina A da cenoura utilizando as tecnologias identificadas como promissoras neste trabalho.
- Avaliar o efeito da cobertura comestível contendo diferentes tipos de micropartículas nas propriedades físicas de morangos minimamente processados.

## **ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM CAPÍTULOS**

A apresentação deste trabalho foi organizado em cinco capítulos, como descrito a seguir:

No capítulo 1 são abordados os aspectos teóricos sobre a matéria prima utilizada, a importância do uso de tecnologias de encapsulação e coberturas comestíveis para a indústria de alimentos; da produção de micropartículas e de coberturas comestíveis.

No capítulo 2 são apresentadas as Fases de um projeto de encapsulação e realizada uma análise aprofundada, de acordo com a metodologia “Retro-design”, do problema a ser resolvido e dos requisitos técnicos para encapsulação do  $\beta$ -caroteno de

forma a identificar as tecnologias mais promissoras para a encapsulação de carotenoides pró-vitânicos a serem adicionados a coberturas comestíveis.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento das partículas contendo  $\beta$ -caroteno por diferentes métodos bem como a caracterização destas partículas (eficiência de encapsulação e microscopia). Neste mesmo capítulo são apresentadas as aplicações das tecnologias identificadas como promissoras, micropartículas comerciais ou produzidas neste trabalho foram aplicadas a cobertura comestível a base de fécula de mandioca, a qual foi utilizada no recobrimento de morangos minimamente processados. A textura do produto final foi avaliada para identificar o impacto do tipo de micropartícula adicionada a cobertura comestível sobre o fruto.

## **CAPITULO 1. Revisão Bibliográfica**

## 1.1 Cenoura

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma planta da família das umbelíferas, produz uma raiz aromática e comestível, caracterizando-se como uma das mais importantes olerícolas, pelo seu grande consumo em todo mundo, pela extensão de área plantada e pelo grande movimento socioeconômico. É também uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil, apresentando a maior produção no período de julho a novembro, preferindo climas amenos, conforme a variedade (SOUSA, 2008).

A cenoura apresenta características peculiares, principalmente na sua raiz tuberosa, sendo alongada, reta e sem ramificações, ela apresentar como fator principal a sua coloração alaranjada intensa e concentração de açúcares (PIAMONTE, 1996). A cenoura também se destaca pela textura macia e paladar agradável e principalmente por ser rica em carotenoides pró-vitamina A como apresentado na Tabela 1 (LANA, 2000).

Tabela 1- Composição nutricional de 100 gramas de raízes de cenoura crua.

Componente	Quantidade
Água(g)	90,1
Calorias (Kcal)	34
Carboidratos (g)	7,7
Fibras (g)	3,2
Proteínas (g)	1,3
Cálcio, Ca (mg)	23
Sódio, Na (mg)	3
Potássio, K (mg)	315
Fósforo, P (mg)	28,00
Retinol Equivalente (µc)	1326

g: grama; µg: micrograma; kcal: kilocaloria; mg: miligrama.

Fonte: TACO, 2011.

A composição química das raízes de cenoura é variável e pode ser influenciada por fatores genéticos e pelas condições de cultivo, como: sistemas de cultivos, tipos e propriedades físicas do solo, época de plantio e temperatura durante a estação de crescimento da cultura, além dos aspectos fitossanitários, da fertilização, densidade de plantio, dentre outros (LANA et al., 2001).

A principal alteração física que ocorre nas raízes de cenouras após a colheita é a perda de água. Além da redução da qualidade visual, devido ao murchamento,

enrugamento e redução do diâmetro, ocorre queda da resistência à invasão dos tecidos por patógenos e redução da firmeza. Raízes mais novas e de menor diâmetro perdem água mais rapidamente do que raízes mais velhas e mais grossas (LANA, 2000).

A cenoura é uma das raízes mais utilizadas para a extração do  $\alpha$  e  $\beta$ - caroteno com uma gama enorme de aplicações, tanto na indústria farmacêutica quanto na de alimentos. O suco de cenoura pode conter até  $85 \text{ mg/L}^{-1}$  de  $\beta$ -caroteno, que além de reduzir os riscos de câncer de pele e aumentar a resposta imunológica do organismo, acredita-se que o  $\beta$ -caroteno sirva de proteção contra os danos do fígado (REITER et al., 2003). Na indústria de alimentos, os carotenoides são utilizados como corantes em margarina, manteiga, queijos e macarrão (LIMA et. al., 2001).

Esta hortaliça é uma das principais fontes de origem vegetal de carotenoides provitamina A, que além de ter função de pigmento podem ser transformados em vitamina A dentro do organismo animal (EMBRAPA, 2008). Os carotenoides compõem um dos grupos de pigmentos naturais mais extensamente encontrados na natureza, responsáveis pelas colorações, do amarelo ao vermelho, de flores, folhas, frutas, algumas raízes (cenoura), gema de ovo, lagosta e outros crustáceos, peixes, pássaros (LIMA et. al., 2001; BRITTON, 1992; PINHEIRO et al., 1998).

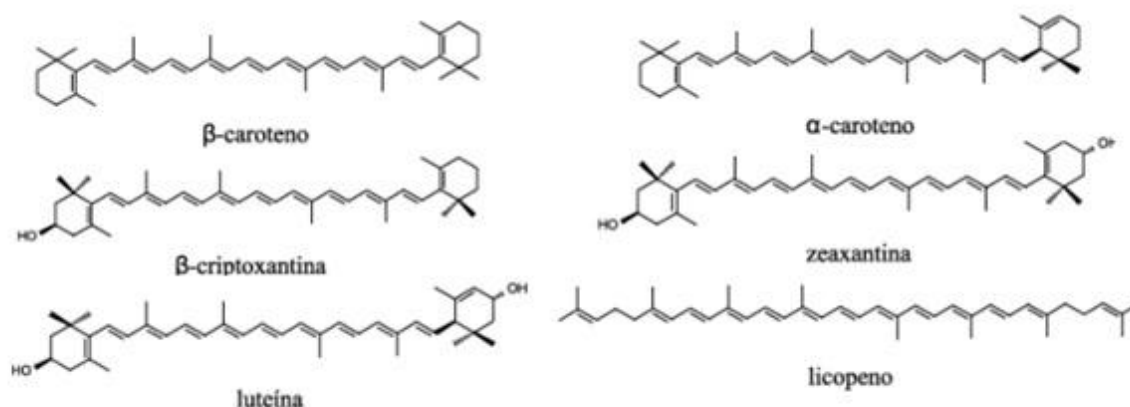
## 1.2 Carotenóides

Carotenóides são componentes tetraterpenóides de 40 carbonos formados por 8 unidades isoprenóides, unidas por unidades opostas no centro da molécula, e podem ser classificados como cíclicos ou acíclicos, dependendo ou não da presença de anéis na sua estrutura. Reações de ciclização, hidrogenação, desidrogenação, migração de duplas ligações, encurtamento ou alongamento da cadeia, rearranjo, isomerização, introdução de funções com oxigênio ou a combinação destes processos resultam na diversidade de estruturas dos carotenoides. (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008). Os carotenóides compreendem uma família de compostos naturais, dos quais mais de 600 variantes estruturais estão reportadas e caracterizadas, a partir de bactérias, algas, fungos e plantas superiores (HAEGELE et al., 2000).

Os carotenoides mais comumente encontrados nos alimentos vegetais são o  $\beta$ -caroteno (cenoura; *Daucus carota*), licopeno (tomate; *Lycopersicum esculentum*), várias

xantofilas (zeaxantina, luteína e outras estruturas oxigenadas do milho, da manga, do mamão *Carica papaya* e da gema de ovo) e a bixina (aditivo culinário e corante dérmico usado por indígenas amazônicos, obtido do urucum, *Bixa orellana*) (TAWATA, 2010). As fórmulas químicas de parte dos carotenóides citados estão representadas na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura química dos carotenoides mais encontrados em alimentos.



Fonte: RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008.

Os carotenoides apresentam funções biológicas e relacionadas com a saúde que despertam interesse generalizado em diversos setores. O carotenoide com maior potencial pró-vitâmico A é o  $\beta$ -caroteno, que pode ser convertido em 2 moléculas de vitamina A. Outros carotenoides como  $\alpha$ -caroteno e a  $\beta$ -criptoxantina, podem ser convertidos em apenas uma molécula de vitamina A, enquanto que a luteína, zeaxantina e o licopeno não apresentam essa capacidade (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

A vitamina A, é um nutriente essencial para o organismo com ação na visão, no crescimento dos ossos, na diferenciação celular, na mobilização do ferro no organismo e na reprodução e integridade do sistema imunológico (PRIAMO, 2011).

No Brasil, a hipovitaminose A é considerada uma das principais deficiências na área de Saúde Pública. Este fato aliado ao alto custo dos alimentos de origem animal, que contêm vitamina A pré-formada, e a uma grande quantidade de carotenoides em frutos e vegetais, contribuem para que os carotenoides se constituam em uma importante fonte deste nutriente na dieta humana (RAMALHO et al., 2002; AMBRÓSIO et al., 2006). A bioprodução industrial de carotenoides está bem



estabelecida e vem se expandindo comercialmente. Porém, as operações de extração diretamente a partir de matrizes vegetais consideradas fontes desses compostos estão ainda em fase de desenvolvimento. Além disso esta operação do processo contribui para aumento dos custos da produção, enfatizando a necessidade de aprofundamento dos estudos nesta área (MEZZOMO, 2012).

Para prevenir doenças causadas pela DVA existe a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina A, para garantir um nível sérico adequado e prevenir sintomas de deficiência em indivíduos como: lactentes, crianças e adultos como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Ingestão Diária Recomendada para Lactentes, Crianças e Adulto.

Nutriente	Lactente			Crianças		Adulto
	0-6 meses	7-11 meses	1-3 anos	4-6 anos	7-10 anos	
<b>Vitamina A</b> ( $\mu\text{g RE}$ )	375	400	400	450	500	600

RE: Retinol Equivalente. 1 micrograma retinol = 1 micrograma RE; 1 micrograma beta-caroteno = 0,167 micrograma RE; 1 micrograma de outros carotenóides provitamina A = 0,084 micrograma RE; 1 UI = 0,3 micrograma de retinol equivalente .

Fonte: Adaptado de ANVISA. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005.

Para garantir a ingestão diária mínima de vitamina A, o Ministério da Saúde criou o Programa Nacional de Suplementação de Vitamina A, que consiste na suplementação profilática medicamentosa para crianças de 6 a 59 meses de idade e mulheres no pós-parto por não atingirem, pela alimentação, a quantidade diária necessária para prevenir a deficiência dessa vitamina no organismo. A composição da megadosa de vitamina A distribuída pelo Ministério da Saúde é: vitamina A na forma líquida, diluída em óleo de soja e acrescida de vitamina E. O Programa Nacional de Suplementação de Vitamina A distribui cápsulas em duas dosagens: de 100.000 UI e de 200.000 UI, acondicionadas em frascos, contendo, cada um, 50 cápsulas gelatinosas moles. As cápsulas apresentam cores diferentes, de acordo com a concentração de vitamina A (BRASIL. Ministério da Saúde, 2013).

Alguns estudos comprovam que o estado nutricional em vitamina A de crianças deficientes de diversos países melhorava após a intervenção com alimentos ricos em

provitamina A, como verduras folhosas verde-escuras, buriti, cenoura, azeite vermelho de dendê e mamão (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

Os carotenoides provitamínicos são substâncias que podem ser facilmente oxidadas, podendo perder a sua atividade provitamínica, quando aplicados processos em que se utiliza calor, luz e oxigênio. Esses processos são tradicionalmente empregados, necessários e aceitos no preparo dos alimentos (TAWATA, 2010). Dessa maneira, utilizando-se os métodos de nano/microencapsulação pode-se ter o melhor controle da microestrutura e da sua funcionalidade, ou seja, tais processos possuem a capacidade de fornecer proteção e estabilização dessas substâncias sensíveis à oxidação (TONIAZZO, 2013).

### **1.3 Microencapsulação**

A microencapsulação corresponde à tecnologia de empacotamento em que, com finas camadas poliméricas aplicáveis em sólidos, gotículas de líquido ou material gasoso, formam partículas denominadas microcápsulas, que podem apresentar diversas funções, dentre elas liberarem seu conteúdo sob condições controladas. O material encapsulado pode ser referido como núcleo, fase interna ou recheio, enquanto que o encapsulante pode ser chamado de concha, revestimento, material de parede ou membrana (SPADA, 2011).

A microencapsulação é um procedimento para revestimento e proteção de substâncias, estudada desde algumas décadas com as primeiras aplicações na indústria de fotocópias. Nos últimos trinta anos os estudos dessa técnica permitiram a ampliação do seu uso para a indústria de alimentos, farmacêutica, aromas e sabores, tintas, química, agrícola, dentre outras (ALVIM, 2005). Na indústria de alimentos a encapsulação tem vasta aplicação. Existe uma variedade muito grande de materiais que podem ser encapsulados, entre eles, produtos como aditivos naturais e ingredientes (ácidos, bases, vitaminas, pigmentos, sais, enzimas, microrganismos, temperos) que alteram a textura, melhoram a qualidade nutricional, aumentam a vida de prateleira ou controlam as propriedades dos alimentos processados (MORERIRA, 2007; COMUNIAN, 2013).

Esta tecnologia tem sido empregada com sucesso na indústria alimentícia, pois tem solucionado limitações no emprego de ingredientes e aditivos alimentícios. A

indústria de alimentos emprega a microencapsulação por inúmeras razões: reduzir a reatividade do material de núcleo com o ambiente; proteger contra condições ambientais adversas; proteger contra condições deletérias no trato intestinal; diminuir a velocidade de evaporação ou de transferência do recheio (fase interna) para o meio; facilitar a manipulação do material encapsulado e promover a diluição homogênea do material encapsulado em uma formulação alimentícia (BRANNON-PEPPAS, 1993; SPADA, 2011). A Figura 2 apresenta as funções do uso de tecnologias de encapsulação para alimentos.

Figura 2 – Funções das tecnologias de encapsulação sobre produtos alimentícios.



Fonte: BRAGA; UBBINK, 2012.

Além da função de proteção, outras vantagens podem ser associadas à encapsulação de substâncias como apresentado na Figura 2.

- Conversão de substâncias líquidas ou gasosas em pós, permitindo sua melhor utilização em sistemas desidratados;
- Mascaram propriedades indesejáveis do material encapsulado como sabor, odor, pH, propriedades catalíticas, dentre outras;
- Permitir mecanismos de liberação controlada das substâncias encapsuladas para fins específicos nos produtos onde está veiculada (ALVIM, 2005).

O fator custo na indústria de alimentos é muito mais limitante que nas indústrias farmacêutica ou de cosméticos, o que levou o setor de alimentos a olhar por muito tempo com receio à utilização das técnicas de microencapsulação, porém à medida que a produção tem aumentado e a relação custo/benefício das técnicas de processamento tem diminuído, a quantidade de produtos alimentícios encapsulados aumenta cada vez mais (GOUIN, 2004; GIBBS, 1999).

A escolha do método de encapsulação para uma aplicação específica depende de uma série de fatores, como: tamanho de partículas requerido, propriedades do ativo (especialmente a solubilidade) e do tipo de partícula procurada (proteção e liberação), finalidade (morfologia, estabilidade, mecanismo de liberação), circunstâncias envolvidas na manufatura do produto e custo como representado na Figura 3 (JACKSON; LEE, 1991; PRATA, 2006).

Figura 3 - Pilares para produção e aplicação de tecnologias de encapsulação em produtos.

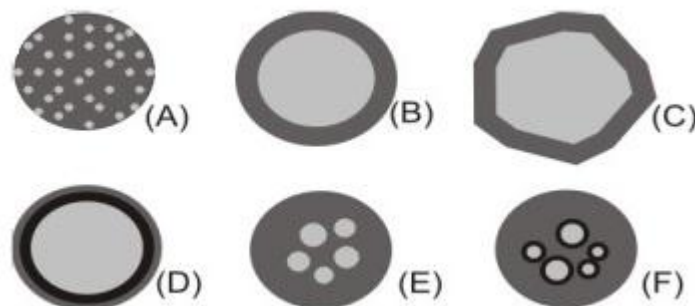


Fonte: BRAGA; UBBINK, 2012.

As microcápsulas podem ter ainda mais de um núcleo, ou mais de uma parede para um mesmo núcleo como apresentado na Figura 4. Quanto ao tamanho, as cápsulas podem ser classificadas em 3 categorias: macro- ( $>5000\ \mu\text{m}$ ), micro- ( $0,2\text{-}5000\ \mu\text{m}$ ) e

nanocápsulas ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) (NORI, 1996). Cada tecnologia produz cápsulas com características de retenção e liberação diferentes (ALVIM, 2005).

Figura 4 - Alguns modelos de microcápsulas. (A): matriz (microsfera); (B): microcápsula simples; (C): simples, irregular; (D): duas paredes; (E): vários núcleos; (F): agrupamento de microcápsulas.



Fonte: AZEREDO, 2005.

Os procedimentos para obtenção das microcápsulas podem ser divididos nos seguintes grupos básicos:

- Físico-químicos: Coacervação simples ou complexa, separação por fase orgânica, envolvimento lipossômico;
- Químicos: Polimerização interfacial, inclusão molecular;
- Físicos: *Spray drying*, *spray coating*, *spray chilling*, leito fluidizado, extrusão, centrifugação com múltiplos orifícios, co-cristalização, liofilização (CARDOSO, 2000).

A composição dos encapsulantes depende do tipo de aplicação a que se destinam e podem variar de comestíveis (carboidratos, proteínas) a polímeros biodegradáveis ou sintéticos. Existe uma variedade de materiais de paredes a serem utilizados para a formação de microcápsulas. A estabilidade dos compostos encapsulados contra a oxidação é influenciada pela natureza química dos polímeros formadores de parede (PRATA, 2006).

Diversos materiais podem ser utilizados como revestimento para as microcápsulas, como (SHAHIDI; HAN, 1993):

- **Gomas:** goma arábica, agar, alginato de sódio, carragena;
- **Carboidratos:** amidos, dextrinas, xarope de milho, sacarose;
- **Celuloses:** carboximetilcelulose, etil, metil, acetil e nitro-celulose;

- **Lipídeos:** cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídeos, óleos e gorduras hidrogenadas;
- **Proteínas:** glúten, caseína, isolado protéico de soro de leite (WPI), gelatina e albumina e algumas fontes alternativas como a quitosana.

O estudo da microencapsulação de compostos bioativos, como de carotenoides, provenientes de extratos naturais não é muito abrangente, sendo encontrados, principalmente, trabalhos referentes à microencapsulação de compostos purificados ou sintetizados em laboratório (MOREIRA, 2007; RUTZ, 2013).

#### 1.4 Biofilmes ou Coberturas Comestíveis

Há muitos anos atrás vários alimentos já foram recobertos com coberturas comestíveis. As ceras são usadas para retardar as trocas gasosas com o meio de frutas cítricas desde os séculos XII e XIII. As aplicações mais importantes de filmes comestíveis, desde 1930, estão no uso de emulsões de ceras e óleos em água para melhorar a aparência dos frutos, incluindo o brilho e a cor, e para controlar o amadurecimento e prevenir a perda de massa (DEBEAUFORT et al., 1998).

Coberturas e filmes comestíveis são caracterizados como matrizes contínuas preparadas a partir de materiais comestíveis à base de proteínas, polissacarídeos e/ou lipídeos. A diferença entre coberturas e filmes comestíveis está na forma de aplicação. As coberturas são dispostas sobre os alimentos na forma líquida, geralmente por imersão ou aspersão do produto em uma solução com compostos de polissacarídeos, proteínas e/ou lipídeos. Já os filmes são primeiramente moldados, como folhas sólidas, e depois são aplicados como uma embalagem no produto alimentar (FALGUERA et al., 2011).

Dentre as matérias primas utilizadas para cobertura comestível, a zeína do milho, o glúten do trigo, as proteínas do leite e da soja são as proteínas que podem formar coberturas, entre os polissacarídeos estão os derivados de celulose, amido, alginatos, pectinas e diferentes gomas e entre os lipídios, estão ceras, ácidos graxos e monoglicerídeos. Os filmes proteicos e com polissacarídeos usados na elaboração de coberturas geralmente são boas barreiras para gases, compostos voláteis e aderem bem nas superfícies dos produtos. Devido à natureza hidrofílica desses compostos, a

cobertura tem característica de formar barreira pobre ao vapor de água; a adição de compostos com característica hidrofóbica contribui para a melhoria da barreira ao vapor de água desta cobertura (OKAMOTO, 1978).

As formulações das coberturas e filmes comestíveis devem conter alguns requisitos, tais como: terem permeabilidade e seletividade aos gases, vapor de água, compostos voláteis e solutos. Além disso, as substâncias utilizadas para elaboração de coberturas comestíveis devem ser de grau alimentício (VARGAS et al., 2008).

As propriedades requeridas para as coberturas comestíveis dependem principalmente das características do produto alimentício que será coberto. Entretanto, baixa permeabilidade ao oxigênio é requerida em produtos sensíveis à oxidação como gorduras poliinsaturadas. Uma propriedade de transferência de massa desejada, por exemplo, é permitir a respiração da fruta ou hortaliça (trocas de oxigênio, gás carbônico e etileno), e limitar sua desidratação durante a estocagem (DEBEAUFORT et al., 1998).

A capacidade das coberturas para atuarem como barreira ao vapor de água depende também de condições externas, incluindo temperatura e umidade relativa, características do produto, tais como variedade, maturidade e as características da cobertura, como composição, estrutura, viscosidade, concentração de sólidos, morfologia do polímero e o tipo de plastificantes utilizado (VARGAS et al., 2008).

Como componentes de um alimento, os filmes e coberturas comestíveis geralmente não devem apresentar sabor para não serem detectados durante o consumo do produto alimentício que foi coberto ou embalado. (DEBEAUFORT et al., 1998).

Os filmes e coberturas comestíveis, por serem embalagens e componentes de um alimento, devem apresentar além da função de barreira criada pelos materiais nas condições de armazenagem, podem ajudar na proteção contra danos mecânicos, contaminação microbiana e diminuição dos resíduos gerados (SOUSA, 2010).

Embalagens comestíveis devem apresentar propriedades funcionais e específicas. Em muitos casos, a eficiência à barreira de água é desejável para retardar a desidratação da superfície de produtos frescos (carne, frutas e verduras) ou congelados. A transferência de vapores orgânicos deve ser diminuída a fim de reter os compostos aromáticos no produto durante a estocagem (VARGAS et al., 2008).

A resistência mecânica e a deformabilidade dos filmes e coberturas devem ser determinadas. O teste mais usado para medir a força mecânica é o teste de tração, onde podem ser derivadas as propriedades de resistência à tração, alongação, força resultante e módulo de elasticidade. As propriedades mecânicas são medidas por deformação de uma amostra e monitoração da força e deformação até que esta se rompa (OKAMOTO, 1978). Outras características das embalagens comestíveis são também estudadas, especialmente para entender melhor as propriedades mecânicas e de barreira dos filmes. Essas características são espessura, isotermas de sorção de água, solubilidade em água, difusividade de solutos entre os filmes, cor e opacidade, etc. (PALMU, 2003).

#### **1.4.1 Adição de compostos bioativos em filmes e coberturas comestíveis**

O produto pode apresentar maior vida útil e melhor aparência de acordo com a cobertura comestível aplicada. Alguns compostos como antioxidantes, antimicrobianos e melhoradores de textura podem melhorar a estabilidade, qualidade, segurança e funcionalidade do produto se incorporados às coberturas. Além de de várias funções, as coberturas comestíveis não devem alterar as características sensoriais do produto em qual for aplicado (VARGAS et al., 2008).

Uma das funções de filmes e coberturas comestíveis é a capacidade de incorporar ingredientes na matriz. Isso pode incluir a adição de plastificantes para melhorar as propriedades mecânicas ou emulsificantes para maior estabilidade e melhor aderência no produto (FALGUERA et al., 2011).

Alguns compostos podem ser incorporados aos filmes e coberturas comestíveis, dentre estes compostos se dá preferência a compostos naturais, ou seja, aqueles extraídos de fontes animais ou vegetais. A principal razão para promover a aplicação de produtos naturais em produtos alimentícios é a demanda do consumidor por métodos naturais para preservação (BURT, 2004).

Os filmes e coberturas adicionados de algum aditivo podem ser utilizados em vários alimentos. Grande parte da aplicação de filmes/coberturas é em frutas frescas e hortaliças. Entre as coberturas mais usadas em frutas estão as ceras, que são aplicadas para prolongar a vida útil pós colheita (através do controle da troca de gases) e contaminação microbiana (PALMU, 2003).



Os revestimentos comestíveis podem ser utilizados em frutas e hortaliças, inteiras ou minimamente processadas, para melhorar ou substituir algumas das funções que as camadas da epiderme natural realizam (CHIUMARELLI, 2011). Tradicionalmente, as coberturas são utilizadas para reduzir a perda de massa, alterando a permeabilidade sobre as frutas frescas (COLLA, 2004).

Em morangos, uma cobertura dupla de amido de amaranto otimizada foi considerada eficiente, retardando a senescência e proporcionando a retenção da textura e a diminuição da perda de peso (COLLA, 2004).

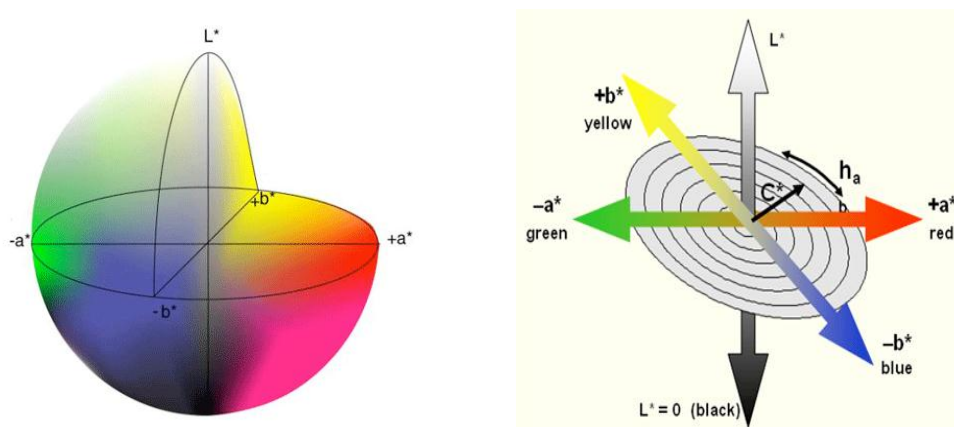
## **1.5 Análises físicas de frutas envoltas por coberturas comestíveis**

### **1.5.1 Cor**

A cor pode ser definida como a sensação visualizada pelo indivíduo quando a energia da luz correspondente ao espectro visível atinge a retina do olho. A cor dos vegetais se dá por quatro principais pigmentos naturais: clorofilas, carotenóides, flavonóides e betalaínas. As clorofilas são verdes; os carotenóides, amarelos, laranja ou vermelhos; as antocianinas são azuis ou vermelhas; as betalaínas vermelhas ou amarelas (RIBEIRO et al., 2007).

A escala de cor CIELab (Figura 5) é o sistema mais utilizado para descrição quantitativa da cor, devido seus resultados homogêneos (MARTINAZO, 2006). Os parâmetros de cor indicam a luminosidade ( $L^*$ ) com valor máximo de 100, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. A tonalidade da amostra não apresenta limites numéricos específicos, porém toma-se como referência o valor de 60 unidades de cor ( $+a^*$  direção para o vermelho,  $-a^*$  direção para o verde,  $+b^*$  direção para o amarelo e  $-b^*$  direção para o azul). O croma ( $C^*$ ) expressa a saturação ou intensidade da cor, enquanto o ângulo de matiz ( $h_a$ ) indica a cor observável e é definido como iniciando no eixo  $+a^*$ , em graus, em que  $0^\circ$  é  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  é  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  é  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  é  $-b^*$  (azul) (GAYA, 2006).

Figura 5 - Espaço de cor CIELab.



Fonte: NEIRO, et al., 2013.

### 1.5.2 Textura

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a textura é definida como todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993).

A textura de um alimento pode ser definida como um grupo de características físicas que provém dos elementos estruturais dos alimentos. Esses parâmetros de textura são quantificados através das análises de textura, que podem ser sensoriais ou instrumentais (BRADY; MAYER, 1985).

Os métodos instrumentais de análise de textura avaliam propriedades mecânicas a partir de forças aplicadas ao alimento que possibilitam a obtenção de dados relacionados à consistência e resistência do tecido mediante a força aplicada (RIBEIRO, 2006). A compressão mede a firmeza; a penetração ou punção mede a resistência da amostra (exemplo resistência da pele dos frutos); a penetração com cisalhamento mede a resistência ao corte (AMARAL et al., 2013).

## **CAPITULO 2. Aplicação do Modelo Retrodesign para identificação das tecnologias de encapsulação**

## 2.1 INTRODUÇÃO

Uma metodologia que vem mostrando grande eficácia no desenvolvimento de microcápsulas é a do “Retro-Design” (UBBINK; KRUEGER, 2006). A partir desta metodologia, o desenvolvimento de um ingrediente encapsulado é um resultado de uma pré-análise cuidadosa da aplicação desejada com relação a: 1) benefício esperado ao consumidor, 2) mercado consumidor alvo, 3) processo de produção do alimento e seus princípios físicos, incluindo a ciência dos materiais, físico-química e biofísica e 4) características do produto alimentício, por exemplo, vida-de-prateleira do produto.

O conhecimento do mercado consumidor alvo permitirá a definição dos materiais a serem usados com relação a legislação local e hábitos alimentares. O benefício esperado ao consumidor definirá onde e como o composto bioativo deverá ser liberado, por exemplo, no alimento ou no corpo humano, por difusão ou ruptura da microcápsula dentre outras possibilidades (BRAGA, 2012).

Para o benefício estar associado à nutrição, o composto ativo deve apresentar alta biodisponibilidade mesmo após encapsulado. O processo e o material a serem utilizados no preparo da microcápsula dependerão das características físico-químicas do alimento a ser enriquecido e do composto bioativo, dos parâmetros do processo de produção do alimento, do local, do tempo e da forma como o composto será liberado (BRAGA, 2012).

Após esta pré-análise, o pesquisador montará o “quebra-cabeça” entre possíveis processos e materiais a fim de identificar quais as tecnologias de encapsulação são as mais promissoras para obter sucesso na aplicação almejada. Além disto, em grande maioria dos casos, o pesquisador precisará desenvolver metodologias em sistemas modelo para avaliar as eficiências de encapsulação e de liberação do composto. Para este último, deve-se considerar todo o processo produtivo do alimento, condições de vida-de-prateleira e onde/como o composto será liberado (BRAGA, 2012).

Assim, o objetivo desta etapa do trabalho foi, identificar as tecnologias mais promissoras para encapsulação carotenoides pró-vitamina A de extratos da cenoura utilizando a metodologia “Retro-design”.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

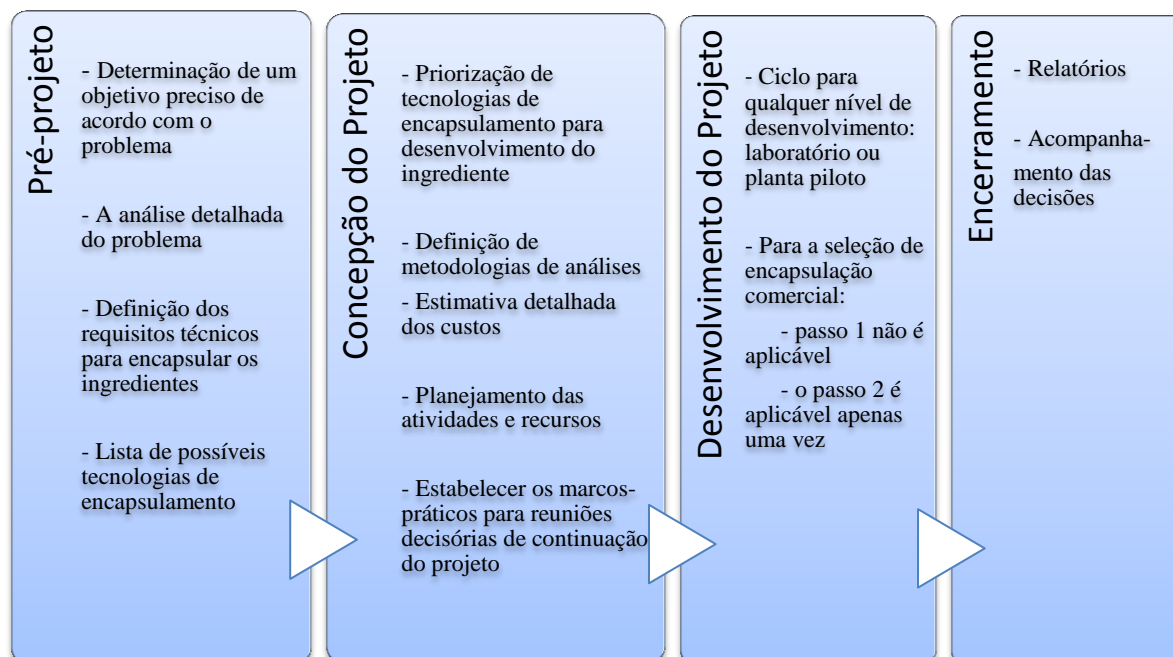
### 2.2.1 Material

Utilizou-se como matéria-prima para este trabalho fécula de mandioca adquirido em comércio local de João Pessoa-PB; vitamina A encapsulada cedida pela empresa Funcional Mikron (São Paulo, Brasil); glicerol adquirido da Neon (São Paulo, Brasil).

### 2.2.2 Metodologia “Retrodesign” aplicada para encapsulação

A identificação das tecnologias promissoras para encapsular carotenóides pró-vitamina A e aplicá-los em coberturas comestíveis foi feita a partir da metodologia “retrodesign” adaptada para situações específicas de encapsulação de bioativos (BRAGA; UBBINK, 2012). Para fazer uso desta metodologia é necessário primeiramente entender as etapas de um processo de encapsulação, as quais estão divididas em quatro fases como apresentado na Tabela 3. Para executar um projeto utiliza-se a tabela inteira, mas para identificar as tecnologias mais promissoras (objetivo do presente capítulo) foram avaliados os itens até o item “Priorização de tecnologias de encapsulamento de avaliação / desenvolvimento” situado na segunda fase: Concepção do Projeto.

Tabela 3 - Fases de um projeto de encapsulação (P & D).



Fonte: BRAGA;UBBINK, 2012.

Segundo as etapas de um projeto de encapsulação apresentadas na Tabela 3, o pré-projeto é elaborado preenchendo-se detalhadamente a Tabela 4, onde deve ser delimitado o objetivo do projeto, a análise detalhada do problema proposto e dos requisitos técnicos para o desenvolvimento da tecnologia de encapsulação.

A Tabela 4 é dividida em duas colunas e quatro linhas onde cada linha aborda as características do projeto, objetivos e descrições. É de grande importância que as características do projeto sejam abordadas com clareza para que seja compreendido principalmente o objetivo do projeto e a maneira que ele será executado. Na Tabela 4 são descritos pontos que devem ser utilizados como direcionamento ao pesquisador para preenchimento das informações de determinado projeto a ser executado.

Tabela 4 - Guia para descrição do projeto de encapsulação.

Problema específico para resolver aplicando encapsulação a produtos alimentares por exemplo oxidação, estabilização ingrediente, entrega ingrediente em condições específicas ...	
	<div>Análise detalhada do problema</div> <div>Requisitos Técnicos da Encapsulação</div>
Benefícios alvo do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspectos nutricionais</li> <li>o Quantidade de ingrediente a adicionar no alimento</li> <li>o Perfil e ponto de liberação</li> <li>Aspectos sensoriais</li> <li>o Off-flavour e sensações que devem ser evitadas</li> </ul>
Consumidor alvo / Mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restrições de materiais</li> <li>o Legislação</li> <li>o Percepção Negativa do consumidor</li> <li>Restrições de processo</li> <li>o Necessidade de linha de produção exclusiva</li> </ul>
Processo de Produção de Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etapas de adição do ingrediente encapsulado</li> <li>Outras etapas do processo de encapsulação</li> <li>Perfil de liberação de ingredientes e as etapas (quando aplicável)</li> <li>Condições do processo que o ingrediente encapsulado tem de resistir (térmica, física e química)</li> <li>Concentração do ingrediente encapsulado</li> </ul>
Características do Produto Alimentício	<ul style="list-style-type: none"> <li>Composição do alimento</li> <li>Condições de vida de prateleira</li> <li>Estado físico</li> <li>Propriedades físico-químicas</li> <li>Tipo de estabilidade (térmica, física, química, luz ...)</li> <li>Estado físico</li> </ul>

**Tecnologias de encapsulamento**

Lista de tecnologias de encapsulação existentes e as empresas correspondentes

Combine:  
 • Lista de tecnologias de processo compatíveis  
 • Lista de materiais compatíveis

Fonte: BRAGA; UBBINK, 2012.

Após identificadas as tecnologias mais promissoras para determinada aplicação, elaborou-se uma tabela com informações sobre vantagens e desvantagens destas tecnologias para o projeto proposto. A Tabela 5 apresenta pontos a serem lembrados para discussão das vantagens e desvantagens e pode ser utilizada como instrumento nessa análise.

Tabela 5 - Priorização de Tecnologias de Encapsulação para avaliação / desenvolvimento.

<b>Tecnologia de Encapsulação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagem</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Impacto do processo de encapsulação sobre a estabilidade ingrediente bioativo</li> <li>➤ A interação entre o ingrediente ativo e da matriz / material de parede</li> <li>➤ Existência de instalações próprias para “up-scaling” da tecnologia de encapsulamento ou necessidade de estabelecer colaboração externa</li> <li>➤ Custo da tecnologia de variação de implementação / custo do produto final com encapsulante</li> <li>➤ Dosagem de encapsulados e a biodisponibilidade do ingrediente ativo</li> <li>➤ Eficiência da encapsulação: se não estiver disponível considerar sistemas semelhantes e propriedades físico-químicas (por exemplo, tamanho dos poros da matriz ou parede encapsulante, coeficiente de partição e/ou volatilidade do ingrediente)</li> <li>➤ Avaliar a análise a ser feita: tempo, custo, equipe treinada / painel sensorial, equipamentos</li> <li>➤ Perfil liberação do componente bioativo para a aplicação desejada (ou sistema modelo relevante)</li> </ul>		

Fonte: BRAGA; UBBINK, 2012.

### **2.2.3 Definição da concentração ótima de micropartículas em biofilmes**

Um recobrimento foi escolhido como sistema modelo para determinação da concentração ótima de micropartículas a ser utilizada na cobertura comestível. Esta análise é importante para poder-se calcular a concentração de  $\beta$ -caroteno nas micropartículas de forma a atingir-se 15% do IDR de vitamina A no produto.

Soluções aquosas a base de fécula de mandioca foram preparadas de acordo com a metodologia descrita por Shimazu et al. (2007). A fécula de mandioca (3%), o glicerol (20% da quantidade de fécula) e água destilada foram devidamente pesados em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Em seguida a mistura foi transferida para um recipiente de alumínio e levados ao aquecimento sob constante agitação manual em temperatura de 95°C durante 10 minutos, sendo em seguida

resfriado lentamente (sem banho de gelo) até 23 °C. Posteriormente foi adicionado vitamina A comercial encapsulada pelo método de coacervação em diferentes concentrações (0,3%; 0,5%; 0,7%) na mistura a base de fécula de mandioca. As misturas de biofilmes foram transferidas para um recipiente retangular antiaderente (31,5 x 21,5 cm) para atingir-se uma gramatura de 0,5 g/cm<sup>2</sup> de biofilme (SHIMAZU et al., 2007). As misturas foram postas para secar a 40°C durante 18 horas em incubadora para demanda bioquímica de oxigênio. modelo SL – 200 da SOLAB (São Paulo, Brasil) como ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Biofilme com partículas em incubadora B.O.D.



Fonte: Próprio autor.

A avaliação dos biofilmes secos foram realizadas considerando-se os seguintes critérios: 1) facilidade de retirada do biofilme do recipiente; 2) tendência do biofilme apresentar-se quebradiço em função da concentração de micropartículas; 3) homogeneidade das micropartículas no biofilme.



## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do uso do guia para descrição do projeto de encapsulação segundo a metodologia de Retro-Design são apresentados na Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 - Resultado da descrição do projeto de encapsulação.



### 2.3.1 Público alvo / Mercado consumidor

Alguns grupos populacionais, pelas características da fase da vida em que se encontram, necessitam de atenção especial, pois são mais vulneráveis à deficiência de vitamina A, como as crianças que passam a receber outros alimentos, além do leite materno, a partir do 6º mês, precisam de quantidades adequadas da vitamina, pois ela é

essencial para o crescimento e o desenvolvimento saudáveis (BRASIL, 2013). Em 2010 o Brasil apresentava cerca de 30.000.000 de crianças (IBGE, 2010). Diante do exposto pode se imaginar a quantidade de crianças que passam por esta situação no Brasil. Desta forma, o consumidor alvo deste projeto são crianças com faixa etária de 1 a 10 anos de idade que precisam ingerir de 400 a 500 µg de vitamina A , pois a partir de dez anos de idade as crianças tanto do sexo feminino como do sexo masculino necessitam ingerir uma concentração mais elevada de vitamina A.

O mercado a ser atingido pelo produto proposto é o mercado nacional, pois no Brasil, a deficiência de vitamina A (DVA) ainda é considerada um problema de saúde pública, a inadequação do consumo de vitamina A é muito alta em todas as regiões do País (BRASIL. Ministério da Saúde, 2013).

### **2.3.2 Benefícios ao consumidor alvo**

A legislação considera alimento fortificado/enriquecido ou simplesmente adicionado de nutrientes todo alimento ao qual for adicionado um ou mais nutrientes essenciais contidos naturalmente ou não no alimento, com o objetivo de reforçar o seu valor nutritivo e ou prevenir ou corrigir deficiência(s) demonstrada(s) em um ou mais nutrientes, na alimentação da população ou em grupos específicos da mesma (BRASIL. SVS/MS, 1998).

Para alimentos enriquecidos/fortificados é permitido o enriquecimento desde que 100 mL ou 100 g do produto, pronto para consumo, forneçam no mínimo 7,5% da IDR de referência, no caso de líquidos e 15% da IDR de referência, no caso de sólidos. Esses alimentos, de acordo com o Regulamento Técnico de Informação Nutricional Complementar, poderão ter o "claim" FONTE de vitamina A. Para alimentos enriquecidos e fortificados com 15% da IDR de referência, no caso de líquidos, e 30% da IDR de referência, no caso de sólidos. Esses alimentos, de acordo com o Regulamento Técnico de Informação Nutricional Complementar, poderão ter o "claim": ALTO TEOR ou RICO em vitamina A (BRASIL, 1998).

A fruta com cobertura comestível deve apresentar uma concentração que varia entre 400-500 µg de Vitamina A/ 100 g produto, o que equivale a 2.395,20-2.994 µg de β-caroteno de acordo IDR (Ingestão Diária Recomendada) (BRASIL, 2005). Para que o ser humano absorva essa quantidade de Vitamina A é necessário que a liberação das

cápsulas aconteça no corpo humano (boca ou trato gastro intestinal) por meio da liberação ativada por degradação (amilases, proteases, lipases, variação no pH) e que não haja perda em excesso do composto bioativo durante toda vida de prateleira até chegar à mesa do consumidor. Para não ocorrer perda do material encapsulado é preciso que tanto o biofilme como o material encapsulante apresente ótima propriedade de barreira ao oxigênio, prevenindo a oxidação dos carotenoides encapsulados.

Devido à alta taxa de insaturação, fatores tais como o calor, a luz e ácidos ocasionam isomerização dos carotenóides *trans*, que é a forma mais estável na natureza, quando apresentados na forma *cis*, pode haver ligeira perda de cor e da atividade pró-vitamínica. Os carotenóides são também susceptíveis às oxidações enzimáticas ou não enzimáticas, que dependem da estrutura do carotenoide, disponibilidade de oxigênio, presença de enzimas, metais, antioxidantes, alta temperatura e exposição à luz (JOHNSON; SCHROEDER, 1995).

Porém, devido à sua alta hidrofobicidade, torna-se difícil a sua incorporação em soluções aquosas. Para isso são necessários estudos envolvendo técnicas que facilitam sua incorporação em alimentos (TONIAZZO, 2013). Assim, a encapsulação de carotenoides pode ser um facilitador para incorporar este bioativo no biofilme/cobertura comestível.

#### **2.3.2.1 Determinação da concentração de micropartículas no biofilme**

O biofilme contendo vitamina A comercial foi testado antes da aplicação nos morangos para se perceber a homogeneidade da distribuição das partículas bem como a espessura da cobertura. Com estes dois parâmetros foi possível calcular a concentração de  $\beta$ -caroteno nas partículas para que fosse atingido ao menos 15% do IDR da vitamina A. Os biofilmes adicionados de partículas de vitamina A comercial produzidas por coacervação com concentração de 0,7% apresentou-se homogêneo em relação a distribuição das partículas. Porém as partículas utilizadas apresentaram densidade inferior ao biofilme o que fez com que as partículas flutuassem em todas as concentrações utilizadas, conferindo um aspecto arenoso e alterando a cor original do mesmo como mostra a Figura 7(C).

As partículas de vitamina A variaram de tamanho o que tornou o biofilme com diferentes espessuras. A espessura média dos biofilmes foi medida por paquímetro, o

biofilme com concentração 0,3% de micropartículas foi de 0,48 mm; a espessura média do biofilme com concentração 0,5% foi de 0,52 mm; a espessura média do biofilme com concentração 0,7% foi de 0,59 mm.

Figura 7 - A) Biofilme com 0,3% de vitamina A; B) Biofilme com 0,5% de vitamina A; C) Biofilme com 0,7% de vitamina A.



(A)



(B)



(C)

Fonte: Próprio autor.

#### 2.3.2.2 Determinação da concentração de $\beta$ -caroteno nas micropartículas

O biofilme contendo 0,7% de partículas foi o que apresentou melhor homogeneidade dentre os testados. Assim, considerou-se esta concentração para fazer os cálculos da concentração de  $\beta$ -caroteno nas micropartículas.

Para o cálculo da relação área superficial/massa dos morangos, mediu-se as dimensões do morango com paquímetro e a massa de 11 morangos através de semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil), como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização dimensional de onze morangos minimamente processados.

Amostra	Peso (g)	Maior dimensão na Altura (cm)	Maior dimensão no Comprimento (cm)	Maior dimensão na Largura (cm)	Área Superficial (cm <sup>2</sup> )
1	15,07	2,37	2,27	3,45	37,39
2	13,32	2,50	3,33	2,47	19,17
3	15,56	2,20	3,15	3,43	21,55
4	15,98	2,58	3,20	3,11	47,25
5	14,78	2,64	3,44	3,00	28,27
6	14,99	2,60	3,10	3,09	19,42
7	16,51	2,62	3,61	3,20	20,11
8	13,19	2,34	3,57	2,55	20,43
9	14,34	2,55	3,14	2,34	17,20
10	15,48	2,64	3,27	3,1	30,19
11	13,79	2,50	3,35	2,94	27,15

**Dados obtidos:**

Peso médio =  $14,8 \pm 1,0$  g

Área superficial média foi calculada considerando a geometria de um cone+meia esfera =  $26,2 \pm 8,8$  cm<sup>2</sup>

Relação área superficial média : peso médio de morangos =  $177$  cm<sup>2</sup> /  $100$  g

Concentração de micropartícula no biofilme: 0,7%

Gramatura do biofilme:  $0,5$ g / cm<sup>2</sup>

**Cálculos**

A partir da concentração de partículas por massa de biofilme, pode-se calcular esta concentração expressa por área de biofilme

$$\frac{0,7 \text{ g partículas}}{100 \text{ g biofilme}} \times \frac{0,5 \text{ g biofilme}}{\text{cm}^2} = \frac{0,35 \text{ g partículas}}{100 \text{ cm}^2 \text{ biofilme}}$$

Sabendo-se que  $100$  g morangos apresenta uma área superficial de  $177$  cm<sup>2</sup>. Logo, uma área superficial de  $100$  cm<sup>2</sup> será equivalente a  $56,5$  g morangos.

Desta forma, a concentração da partícula expressa em g de morangos é:

$$\frac{0,35 \text{ g partículas}}{56,5 \text{ g morangos}} = \frac{0,62 \text{ g partículas}}{100 \text{ g morangos}}$$

Para atingir-se 15% da IDR de vitamina A e o produto ser considerado com o “claim” FONTE DE VITAMINA A, 100 g do produto precisa conter 360 µg de β-caroteno. Portanto, pode-se calcular a concentração de β-caroteno por partículas.

$$\frac{360 \mu g \beta - caroteno}{0,62 g \text{ partículas}} = \frac{580 \mu g \beta - caroteno}{100 g \text{ partículas}}$$

Para atingir-se 30% da IDR de vitamina A, e o produto ser considerado com o “claim” RICO EM VITAMINA A, 100 g do produto precisa conter 720 µg de β-caroteno. Portanto, pode-se calcular a concentração de β-caroteno por partículas.

$$\frac{720 \mu g \beta - caroteno}{0,62 g \text{ partículas}} = \frac{1160 \mu g \beta - caroteno}{100 g \text{ partículas}}$$

### 2.3.3 Processo de Produção de Alimentos

Para se desenvolver um produto é fundamental conhecer o processo produtivo pelo qual ele vai passar até que esteja pronto. As etapas envolvidas no presente projeto são: produção da cobertura comestível, extração do suco da cenoura, microencapsulação do suco e adição das partículas à cobertura comestível. A adição do produto encapsulado ao biofilme se dará por meio de mistura das partículas após o biofilme ser produzido, todo cuidado deve ser tomado para que as características do biofilme não sejam alteradas, as partículas não sofram nenhum dano e sejam distribuídas de forma homogênea. Para que alterações indesejáveis não ocorram, as partículas devem resistir ao processo de mistura, temperaturas de até 50 °C e ação mecânica. Outro ponto a ser considerado na escolha da tecnologia de encapsulação é que a estocagem das frutas com cobertura/micropartículas será refrigerada. Ou seja, não se pode escolher uma material encapsulante termo-reversível (que liquefaça com o frio).

### 2.3.4 Características do produto final

A cobertura comestível será aplicada às frutas frescas, por isso faz-se indispensável definir as características dos frutos a serem utilizados. As frutas em que o biofilme será aplicado devem ter casca comestível, podem ter tamanhos e formatos variados, apresentar baixa ou nenhuma concentração em vitamina A e podem ser cítricas ou não cítricas.

Com intenção de que o produto atraia o consumidor, alguns aspectos sensoriais das frutas frescas devem ser mantidos, para isso é de grande importância que a cobertura comestível enriquecida não altere o odor e o sabor natural da fruta, não altere o brilho dado à fruta pelo biofilme. As microcápsulas devem estar em pó com tamanho médio menor que 80 microns e a densidade semelhante à densidade do biofilme com a finalidade de manter a homogeneidade, não apresentar aspecto arenoso durante o consumo, preservar a translucidez e não permitir a precipitação das partículas após a mistura com o biofilme.

### 2.3.5 Identificação das tecnologias promissoras para encapsulação de $\beta$ -caroteno

Diversas tecnologias de encapsulação não são capazes de cumprir os pré-requisitos técnicos descritos na Tabela 6, pois apresentam características que o produto proposto não pode apresentar. Dentre estas estão: a atomização, extrusão, inclusão molecular, liofilização, lipossomas, inclusão celular, “fluid bed coating”.

A Tabela 8 (ZUIDAM; SHIMONI, 2010) apresenta um resumo das características físicas das tecnologias de encapsulação mais utilizadas na literatura. Com base neste conteúdo e em outros conhecimentos teóricos e práticos, serão discutidos a seguir os motivos da inviabilidade do uso de diversas tecnologias.

Tabela 8 - Resumo das características das tecnologias de encapsulação mais comuns.

TECNOLOGIA	MORFOLOGIA	CONTEÚDO BIOATIVO (%)	TAMANHO MÉDIO DE PARTÍCULAS ( $\mu$ M)
Atomização	Matriz	5-50	10-400
Cobertura por leito fluidizado	Núcleo-Casca	5-50	5-5000
Atomização a frio	Matriz	10-20	20-200
Extrusão	Matriz	5-40	300-5000
Emulsificação	Matriz	1-50	0,2-5000
Emulsão com polimerização interfacial	Núcleo-Casca	1-90	0,2-5000
Emulsão com múltiplas camadas	Núcleo-Casca	1-90	0,2-5000
Coacervação	Núcleo-Casca	40-90	10-800

<b>Gotejamento / atomização com gelificação iônica</b>	Matriz	10-50	20 - 5000
<b>Emulsão a/o ou o/a com gelificação</b>	Matriz	10-50	10-1000
<b>Co-extrusão com gelificação</b>	Núcleo-Casca	70-90	150-8000
<b>Complexação molecular</b>	Inclusão molecular	5-15	0,001-0,01
<b>Lipossomas</b>	Núcleo-Casca	5-50	0,1-100
<b>Encapsulação por expansão rápida de fluido supercrítico (RESS)</b>	Matriz	20-50	10-400
<b>Nanopartículas de lipídeos sólidos</b>	Matriz	10-50	0,1-1
<b>Nanopartículas – diversos métodos</b>	Diversos	Diversos	0,1-1

Fonte: adaptado de ZUIDAM; SHIMONI, 2010.

A atomização produz cápsulas solúveis, característica esta que o produto não poderá apresentar para que o composto bioativo não seja liberado no biofilme antes que o produto seja consumido, outra característica apresentada por esta tecnologia é o emprego de altas temperaturas o que pode fazer com que o  $\beta$ -caroteno sofra oxidação pelo calor. Uma alternativa a atomização é a liofilização por não expor o produto a temperaturas drásticas, mas é uma tecnologia de alto custo e longo tempo de processo e semelhantemente a atomização produz partículas solúveis (RIGHETTO, 2003).

A extrusão muitas vezes é indicada para compostos termolábeis como é o  $\beta$ -caroteno, porém este método produz partículas relativamente grandes, o que não poderá acontecer com as partículas de  $\beta$ -caroteno, pois serão inseridas em um biofilme o qual não pode alterar as características sensoriais do produto em que está aplicado (AZEREDO, 2005).

Na tecnologia de leite fluidizado uma grande variedade de materiais de revestimentos podem ser utilizados, mas assim como a extrusão esta técnica produz partículas grandes, outra desvantagem desta tecnologia é a liberação das partículas que



ocorre por fratura física e por altas temperaturas o que não deverá ocorrer com as partículas de  $\beta$ -caroteno para que não haja perda do composto durante todo processamento.

A tecnologias de complexação molecular são diversas e podem apresentar processos que oxidariam o carotenoide, devendo-se fazer uma avaliação caso a caso para as tecnologias. No entanto, de uma forma geral apresentam baixa capacidade de incorporação de bioativo e são destinadas para incorporação de bioativo purificado. No presente trabalho, pretende-se utilizar o  $\beta$ -caroteno diretamente de um extrato de cenoura e não purificado.

A tecnologia de co-extrusão com posterior gelificação da casca apresenta tamanho de partícula médio maior do que o aceito no presente projeto. Lipossoma é uma tecnologia para inclusão de compostos hidrofílicos ou hidrofóbicos dispersos na fase aquosa. No entanto, o processo de fabricação exige que a membrana lipídica seja compacta e que resista a condições de processo de produção da cobertura comestível como temperatura de secagem e mistura de compostos com agitação. Geralmente utiliza-se material altamente purificado para formar lipossomas, o que eleva o custo da tecnologia. No entanto, existem no mercado algumas frações de lipídeos não tão purificadas que são aprovadas para uso em alimentos e que resultam na formação de lipossomas. Entretanto, esta tecnologia não foi considerada como promissora no presente trabalho porque será utilizado como material de recheio um extrato de cenoura, o qual apresenta uma diversidade grande de moléculas que possivelmente irão interagir com o material de parede do lipossoma evitando a formação compacta desta estrutura.

Os processos de emulsão simples ou com múltiplas camadas não são adequados para este projeto. O primeiro não oferece barreira a oxidação do beta-caroteno e o segundo é um processo que exige diversas diluições do sistema para aplicação de cada camada e tem um elevadíssimo consumo de água. Para apresentar alguma proteção estudos apontam a necessidade de aplicar-se em torno de sete camadas de biopolímeros, o que aumenta muito o custo desta tecnologia e torna inviável seu aumento de escala devido a quantidade de água residuária.

As tecnologias de encapsulação que se mostraram mais promissoras para a encapsulação de carotenoides para serem adicionados em cobertura comestível foram as tecnologias baseadas em emulsão como coacervação complexa, nanoemulsão com

polimerização, gelificação iônica e lipídeos sólidos. Outras nanotecnologias não foram avaliadas uma a uma devido a sua grande diversidade.

As tecnologias de encapsulação consideradas promissoras de acordo com as características do composto a ser encapsulado e dos objetivos a serem atingidos por este projeto são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 - Resultado da priorização de tecnologias de encapsulação para avaliação / desenvolvimento.

<b>Tecnologia de Encapsulação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
➤ <b>Coacervação Complexa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não utiliza drásticas temperaturas</li> <li>- Não utiliza solvente orgânico</li> <li>- Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados</li> <li>- A casca coacervada quando mantida seca apresenta baixa porosidade</li> <li>- Grande variedade de material de parede.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo realizado muito diluído para obtenção de partículas não aglomeradas. Produzindo elevada quantidade de água residuária e possibilidade de migração do <math>\beta</math>-caroteno para fase aquosa (coeficiente de partição molecular).</li> <li>- Dificuldade em estabilizar o coacervado ao redor da gota de óleo e sem aglomeração com materiais não gelificantes.</li> </ul>
➤ <b>Gotejamento/atomização com gelificação iônica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não utiliza drásticas temperaturas</li> <li>- Não utiliza solvente orgânico</li> <li>- Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta porosidade. Mas pode-se diminuir esta propriedade adicionado-se amido ou maltodextrina ao sistema.</li> </ul>
➤ <b>Partículas sólidas de lipídeos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados</li> <li>- Fácil obter pequenos tamanhos de partícula (desde nano escala).</li> <li>- Não utiliza solvente orgânico</li> <li>- Grande variedade de material de parede.</li> <li>- Fácil aumento de escala produtiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processamento da cápsula requer elevada temperatura para fundir os lipídeos, o que pode reduzir a estabilidade do beta-caroteno</li> <li>- Cristalização da matriz lipídica pode expulsar o bioativo</li> </ul>
➤ <b>Nanoemulsão com polimerização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não utiliza drásticas Temperaturas</li> <li>- Não utiliza solvente orgânico</li> <li>- Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados</li> <li>- Pode-se colocar antioxidante na membrana polimerizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não existem muitos agentes reticulantes aprovados pela legislação brasileira.</li> </ul>

A coacervação baseia-se na formação de uma emulsão do recheio na solução da mistura polimérica. A coacervação ocorre mediante mudança no valor de pH, força iônica e temperatura, resultando na deposição do complexo ao redor da gota de óleo, formando um filme, que é responsável pelo aprisionamento, proteção e liberação controlada do recheio (SCHMITT et al., 1998). Normalmente, o material de parede de uma partícula obtida por coacervação complexa é uma mistura de uma proteína e um polissacarídeo. Assim, acima do ponto isoelétrico da proteína as cargas globais de ambos biopolímeros são negativas. Com o abaixamento do pH para valores inferiores ao ponto isoelétrico, a carga global da proteína torna-se positiva e a do polissacarídeo continua negativa. Com isto, ocorre separação de fases associativa resultando em uma densa camada (fase inferior) de coacervado e uma fase superior aquosa depleta de biopolímeros. Como o coacervado é uma fase densa terá baixa porosidade, contribuindo após secagem para uma melhor proteção do  $\beta$ -caroteno quanto a oxidação.

A eficiência da microencapsulação por coacervação está associada às características dos polímeros, do complexo formado e do recheio a ser encapsulado. Em geral, compostos líquidos ou particulados de caráter hidrofóbico, são facilmente encapsulados por esse processo (KRUIF, 2004), o que condiz com o composto a ser encapsulado, pois o  $\beta$ -caroteno apresenta alta hidrofobicidade e a sua incorporação em soluções aquosas é de grande dificuldade. Para o presente projeto, pode-se propor triturar a cenoura em presença do óleo a ser encapsulado, de forma a enriquecer este óleo com beta-caroteno.

Os materiais encapsulantes considerados ideais para coacervação são aqueles com propriedades coloidais hidrofílicas, que apresentam solubilidade em meio aquoso, densidades de cargas adequadas e cadeias lineares. Alguns exemplos são: gelatina, alginatos, albuminas, caseína, ágar, gomas, pectinas, etc (ALVIM, 2005).

A gelatina vem sendo usada como material de cobertura para microencapsulados. Esse polímero é um componente natural, de alto valor nutritivo, facilitando sua utilização em alimentos por ser considerado inócuo, diferente de alguns polímeros sintéticos, que muitas vezes não são permitidos, ou têm seu uso limitado, devido a uma possível toxicidade (ALVIM, 2005). A gelatina é uma proteína, o que permite a liberação por degradação, ou seja, pode ser degradada pela ação de proteases

no organismo humano, contribuindo para que a liberação do composto bioativo ocorra em local específico.

Uma desvantagem desta tecnologia é que seu processo é realizado muito diluído para obtenção de partículas não aglomeradas. Produzindo elevada quantidade de água residuária e possibilidade de migração do  $\beta$ -caroteno para fase aquosa (coeficiente de partição molecular). Além disto, existe uma grande dificuldade tecnológica em estabilizar o coacervado ao redor da gota de óleo sem aglomeração quando utiliza-se materiais não gelificantes. Comercialmente o sistema mais encontrado é a base de gelatina, que confere gelificação a frio.

Outra tecnologia que se mostrou compatível às características do produto e do processo apresentado foi a gelificação. Nesta tecnologia são produzidos microgéis que são utilizados com a finalidade de reter compostos ativos, visando reduzir a reatividade do material encapsulado em relação ao meio (luz, oxigênio, umidade, temperatura, etc), evitar a evaporação de compostos voláteis, preservar ou mascarar sabores, controlar a taxa e local de liberação do mesmo, facilitando o manuseio do material encapsulado (SHAHIDI; HAN, 1993).

O uso de encapsulação por microgéis pode auxiliar na incorporação de materiais com baixa solubilidade e ainda permite a incorporação dos microgéis em produtos com elevada quantidade de água. Deve-se atentar para a particularidade de que um microgel desenvolvido para proteger um determinado composto em um produto de baixa atividade de água não terá o mesmo desempenho quando aplicado em outro produto com maior umidade. Ou seja, no desenvolvimento de microcápsulas um dos pontos fundamentais a ser considerado é o tipo de produto a ser enriquecido (PERRECHIL, 2012).

Algumas das vantagens da encapsulação por gelificação iônica é a possibilidade de trabalhar com materiais termolábeis, encapsular facilmente materiais hidrofóbicos (a partir de uma emulsão o/a com biopolímero gelificante na fase aquosa) e o material a ser usado na produção dos microgéis podem ser biopolímeros como proteínas e polissacarídeos que se degradam por ação enzimática e alterações de pH o que se faz necessário para as partículas de  $\beta$ -caroteno, pois o composto deve ser liberado em local específico por ação de enzimas como amilases e proteases.

Existem diversos biopolímeros gelificantes de diferentes origens bastante importantes, principalmente na indústria de alimentos, os quais são: amido, pectina, celulose, goma arábica, agar, carragena, alginato, xantana, gelana, dextrana, gelatina, caseinatos, proteínas do soro, quitosana (PERRECHIL, 2012).

Uma desvantagem da gelificação iônica é sua alta porosidade, o que pode facilitar a oxidação do beta-caroteno. No entanto, pode-se diminuir esta porosidade adicionando-se amido ou maltodextrina ao sistema.

Partículas obtidas por nanoemulsão polimerizada são obtidas por processo de emulsificação de uma solução oleosa contendo o bioativo em uma solução aquosa contendo um material biopolimérico que tenha afinidade pela interface do óleo. Na fase aquosa pode-se conter também o material reticulante que sob uma variação de temperatura ou pH ou ação enzimática irá polimerizar o material que encontra-se na interface da gota de óleo. Alternativamente, pode-se também adicionar o reticulante após a emulsão estar estabilizada.

Algumas vantagens desta tecnologia são a fácil incorporação de bioativos hidrofóbicos, obtenção de pequenos tamanhos de partícula, a grande variedade de material de parede a ser utilizada e o fácil aumento de escala produtiva. No entanto, não existem muitos agentes reticulantes aprovados pela legislação brasileira.

Partículas sólidas de lipídeos são compostas por lipídeos solidificados contendo o composto bioativo como parte da matriz lipídica. Estas partículas são estabilizadas por uma interface contendo emulsificantes. Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados por esta tecnologia, podendo-se também incorporar materiais hidrofílicos. Existem diversas formas de produzir partículas sólidas de lipídeos sem uso de solvente orgânico, sendo as mais comuns por atomização a frio, ultra-homogeneização e microemulsão (LASOÑ e OGONOWSKI, 2011). Por estas tecnologias é fácil obter-se pequenos tamanhos de partícula (desde nano escala), o que não conferiria uma textura arenosa sobre a cobertura comestível.

Desvantagens deste tipo de partícula são relacionadas a necessidade de processar o lipídeo em temperaturas mais altas do que o ponto de fusão do material, o que pode facilitar a degradação do beta-caroteno. Além disto, a cristalização da matriz lipídica pode expulsar o bioativ

### **CAPITULO 3. Desenvolvimento de tecnologias de encapsulação e seus efeitos sobre as propriedades físicas de morangos minimamente processados**

### 3.1 INTRODUÇÃO

A vitamina A é uma das mais estudadas dentre as outras vitaminas, visto que sua deficiência prolongada causa uma grave doença chamada de hipovitaminose. A vitamina A se origina de dois grupos de compostos: os carotenoides pró-vitamina A, provenientes dos alimentos de origem vegetal e o retinol ou vitamina A pré-formada, encontrada nos alimentos de origem animal (RONCADA, 1998).

Dentre os carotenoides presentes na cenoura está o  $\beta$ -caroteno pró-vitamina A. O  $\beta$ -caroteno presente na cenoura pode ser utilizado para o enriquecimento de coberturas comestíveis, as quais também podem conter outros compostos ativos ou nutrientes que apresentem um efeito positivo sobre a saúde (FALGUERA et al., 2011). O enriquecimento de coberturas comestíveis aplicadas em frutas minimamente processadas pode ser uma boa alternativa para que crianças atinjam os níveis séricos de ingestão de vitamina A. O enriquecimento destas coberturas pode ser efetuado através da microencapsulação, esta técnica tem como finalidade proteger o composto a ser encapsulado de reações diversas (MORETTI et al., 2007).

Existem várias técnicas de encapsulação, estas tecnologias podem ser empregadas de diversas formas e finalidades, dentre estas técnicas estão a coacervação, gelificação iônica e a microencapsulação por lipídeos. A coacervação ocorre mediante mudança no valor de pH, força iônica e temperatura, resultando na deposição do complexo ao redor da gota de óleo, formando um filme, que é responsável pelo aprisionamento, proteção e liberação controlada do recheio (SCHMITT et al., 1998).

Partículas sólidas de lipídeos são compostas por lipídeos solidificados contendo o composto bioativo como parte da matriz lipídica. Estas partículas são estabilizadas por uma interface contendo emulsificantes. Materiais hidrofóbicos são facilmente encapsulados por esta tecnologia, podendo-se também incorporar materiais hidrofílicos. Existem diversas formas de produzir partículas sólidas de lipídeos sem uso de solvente orgânico, sendo as mais comuns por atomização a frio, ultra-homogeneização e microemulsão (LASOÑ e OGONOWSKI, 2011).

Outra tecnologia aplicável a coberturas comestíveis é a gelificação iônica. Neste método são produzidos microgéis que são utilizados com a finalidade de reter compostos ativos, visando reduzir a reatividade do material encapsulado em relação ao

meio (luz, oxigênio, umidade, temperatura, etc). Assim como a gelificação, as partículas sólidas de lipídeos tem o objetivo de proteger o composto bioativo. Esta tecnologia é bastante utilizada para encapsular materiais hidrofóbicos (LASOÑ e OGONOWSKI, 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver partículas contendo carotenóides pró-vitamina A da cenoura utilizando as tecnologias identificadas como promissoras usando a metodologia retrodesign (Capítulo 3) e avaliar o impacto da cobertura comestível contendo micropartículas nas propriedades físicas de morangos minimamente processados.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Material**

Utilizou-se como matéria-prima para este trabalho cenouras, fécula de mandioca, óleo de soja e morangos adquiridos em comércio local de João Pessoa-PB; alginato, proteína do soro de leite, vitamina A encapsulada e ferro encapsulado foram cedidos pela empresa Funcional Mikron (São Paulo, Brasil); cloreto de cálcio foi adquirido da Proquímio (Rio de Janeiro, Brasil), ácido clorídrico foi adquirido da Fmaia (São Paulo, Brasil); glicerol foi adquirido da Neon (São Paulo, Brasil).

### **3.2.2 Experimental**

#### **3.2.2.1 Extração hidrofílica do $\beta$ -caroteno d cenoura**

Foi feito o uso de tecnologia verde (não usa solvente orgânico) para a extração do  $\beta$ -caroteno. As cenouras utilizadas na produção do extrato aquoso foram selecionadas e lavadas em água corrente, classificadas e fatiadas manualmente. Em seguida, as cenouras foram pesadas em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil) e processadas em centrífuga doméstica da MONDIAL modelo CF-02. O extrato hidrofílico foi filtrado primeiramente em peneira de aço inoxidável, para a retirada de grande parte das fibras contidas na mistura, e em seguida em papel de filtro qualitativo, sendo posteriormente acondicionado em recipiente de vidro.

#### **3.2.2.2 Extração hidrofóbica do $\beta$ -caroteno d cenoura**

As cenouras utilizadas na produção da pasta foram selecionadas e lavadas em água corrente, classificadas e fatiadas manualmente. Em seguida, as cenouras foram



pesadas em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Após a pesagem as cenouras foram processadas com óleo de soja em liquidificador de aço inoxidável na proporção 1:10 de cenoura:óleo. O sobrenadante contendo fibras foi descartado e o extrato hidrofóbico foi acondicionado em recipiente de vidro.

### **3.2.2.3 Farinha de cenoura**

As cenouras utilizadas na produção da farinha foram selecionadas e lavadas em água corrente, classificadas e fatiadas em equipamento Multiprocessador de alimentos modelo PRA-200 da Becker (Santa Catarina, Brasil), as fatias foram dispostas uniformemente em bandejas, levadas para estufa com circulação forçada de ar e secas a 50°C, por 7 horas. Após a secagem o material foi moído em um liquidificador de aço inoxidável e acondicionado em embalagem de polipropileno (Figura 8).

Figura 8 - Processamento de farinha de cenoura. A) Processo de Fatiamento; B) Cenouras fatiadas; C) Secagem das cenouras em estufa; D) Cenouras secas; E) Moagem das cenouras secas; (F) Obtenção da farinha de cenoura.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.3 Preparo das soluções

#### 3.2.3.1 Solução de alginato

Para o preparo da solução de alginato (1%, 1,5%, 2,0% p/p) pesou-se o pó em balança semi-analítica modelo BS da Bioprecisa (Curitiba, Brasil), o qual foi lentamente adicionado em água destilada a temperatura ambiente sob agitação usando agitador magnético modelo SSL92 da SOLAB (São Paulo, Brasil) em temperatura ambiente. Após o preparo a solução foi acondicionada em recipiente de vidro.

#### **3.2.3.2 Solução de cloreto de cálcio**

Para o preparo da solução de cloreto de cálcio (4% p/p) pesou-se o cloreto em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil), em seguida foi diluído em água destilada usando agitador magnético modelo SSL92 da SOLAB (São Paulo, Brasil) a temperatura ambiente, após o preparo a solução foi acondicionada em recipiente de vidro.

#### **3.2.3.3 Solução de proteína desnaturada**

Para preparar a solução de proteína do soro de leite (10% p/p) pesou-se a proteína em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil), em seguida foi diluído em água destilada usando agitador magnético modelo SSL92 da SOLAB (São Paulo, Brasil) a temperatura de 80°C durante 15 minutos para a desnaturação das proteínas, após o preparo a solução foi acondicionada em recipiente de vidro.

#### **3.2.3.4 Cobertura comestível a base de fécula de mandioca**

Soluções aquosas a base de fécula de mandioca foram preparadas de acordo com a metodologia descrita por Shimazu et al. (2007). A fécula de mandioca (3%), o glicerol (20% da quantidade de fécula) e água destilada foram devidamente pesados em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Em seguida, a mistura foi transferida para um recipiente de alumínio e levados ao aquecimento sob constante agitação manual em temperatura de 95°C durante 10 minutos, sendo em seguida resfriado lentamente (sem banho de gelo) até 23 °C. Posteriormente foi adicionado à mistura a base de mandioca, cada uma das micropartículas na concentração de 0,7%.

### **3.2.4 Preparo das emulsões**

Uma emulsão geralmente é composta por dois líquidos imiscíveis (usualmente óleo e água), com um dos líquidos disperso no outro na forma de gotas.

Foram preparadas as seguintes emulsões:

- 1- Extrato hidrofóbico: solução de alginato (1%) na proporção 1:5. A pasta de cenoura e a solução de alginato foram pesadas em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Após, a solução de alginato (1%) foi adicionada à pasta de cenoura/óleo.
- 2- Extrato hidrofílico: solução de alginato (1%) na proporção 1:3. O suco de cenoura e a solução de alginato foram pesadas em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Após a solução de alginato (1%) foi adicionada ao suco de cenoura.
- 3- Extrato hidrofóbico: solução Proteína do soro do leite (10%) na proporção 1:4. O extrato hidrofóbico de cenoura e a solução de proteína do soro do leite foram pesadas em balança semi-analítica modelo BS 3000A da Bioprecisa (Curitiba, Brasil). Após, a solução de proteína (10%) foi adicionada a pasta de cenoura/óleo.

### **3.2.5 Produção de micropartículas**

#### **3.2.5.1 Gelificação iônica**

Para produção dos microgéis o extrato hidrofílico contendo alginato (1%) foi extrusado por um bico atomizador do pulverizador marca Guarany (São Paulo, Brasil) apresentado na Figura 9, a emulsão foi pulverizada sobre solução de cloreto de cálcio (4%, p/p) a temperatura ambiente apresentado na Figura 10.

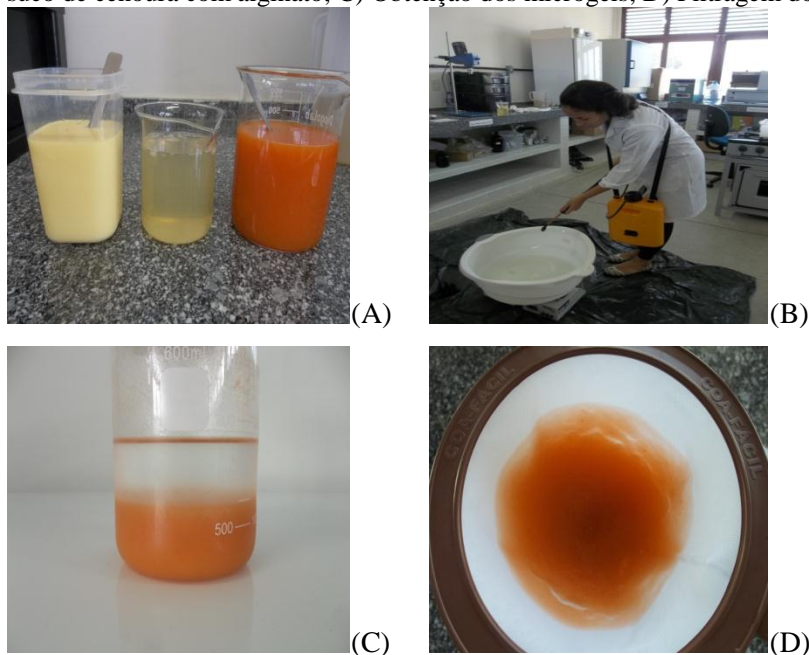
Figura 9 - Pulverizador de alta pressão.



Fonte: Próprio autor.

Altura do bico atomizador para solução salina foi fixa em 35 cm o que é maior do que a distância para a completa formação da gota (aproximadamente 50 mm) (ALISEDA et al., 2008). As partículas gelificadas foram mantidas em solução salina sob agitação por 30 minutos em agitador magnético modelo SSL92 da SOLAB (São Paulo, Brasil) (CHAN et al., 2009) e depois filtradas em filtro permanente para café. Os microgéis foram estocados a temperatura de 5 a 10°C antes da sua adição ao biofilme.

Figura 10 - Produção de microgéis por gelificação iônica. A) Preparo das emulsões; B) Pulverização da emulsão ou do suco de cenoura com alginato; C) Obtenção dos microgéis; D) Filtragem dos microgéis.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.6 Microscopia dos microgéis

A análise microscópica foi conduzida em microscópio binocular modelo XS 210 da CHAMPION. As amostras analisadas não receberam qualquer preparação anterior à análise, sendo apenas disposta em lâminas de vidro. As imagens captadas se deu através da utilização de um software de aquisição de imagem.

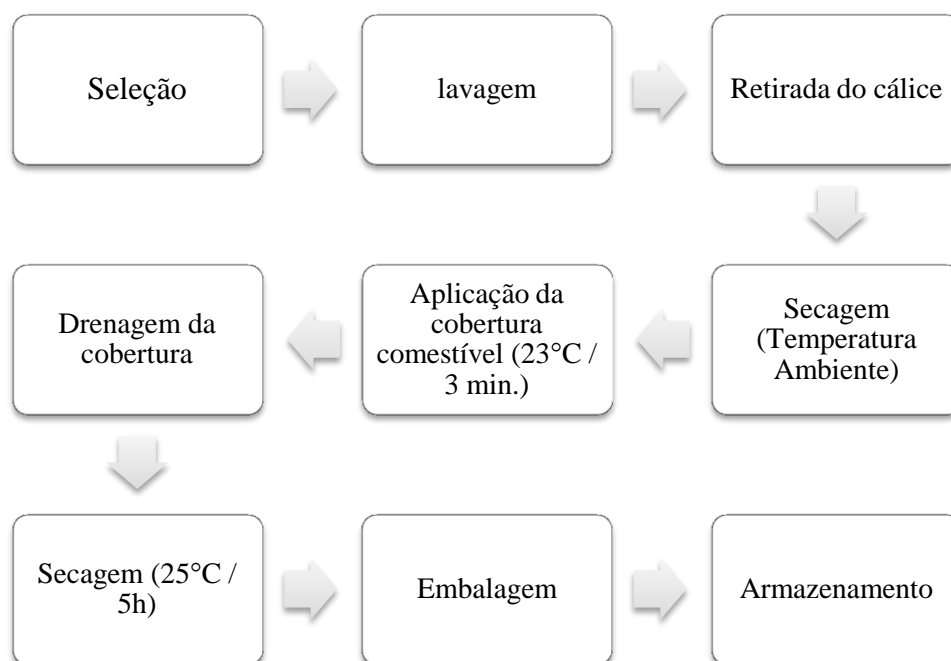
#### 3.2.6.1 Aplicação de cobertura comestível enriquecida com $\beta$ -caroteno sobre morangos minimamente processados

##### 3.2.6.1.1 Preparo da matéria-prima

Foram utilizados morangos frescos em estágio comercial de maturação, adquiridos em comércio local. O fluxograma do processamento mínimo é apresentado na Figura 11.

Foi realizada uma seleção cuidadosa quanto ao tamanho, cor, formato e grau de maturação para uniformizar as amostras. As frutas que apresentavam danos físicos e infecção por fungos foram descartadas. Foi realizada a retirada do cálice e pedúnculo com auxílio de uma faca inox. Para lavagem, morangos foram mergulhados em água destilada por aproximadamente 1 minuto, em seguida foram secos a temperatura ambiente antes da aplicação dos biofilmes (Figura 11A). Os morangos foram mergulhados em cobertura a 23°C por 3 minutos (Figura 11B). Após a aplicação do biofilme os morangos foram drenados e mantidos a 25 °C por aproximadamente 5 horas, para a secagem (Figura 12C), sendo posteriormente embalados e armazenados a 5°C em incubadora B. O. D. modelo SL – 200 (SOLAB, São Paulo-Brasil) por aproximadamente 18 horas antes das análises físicas.

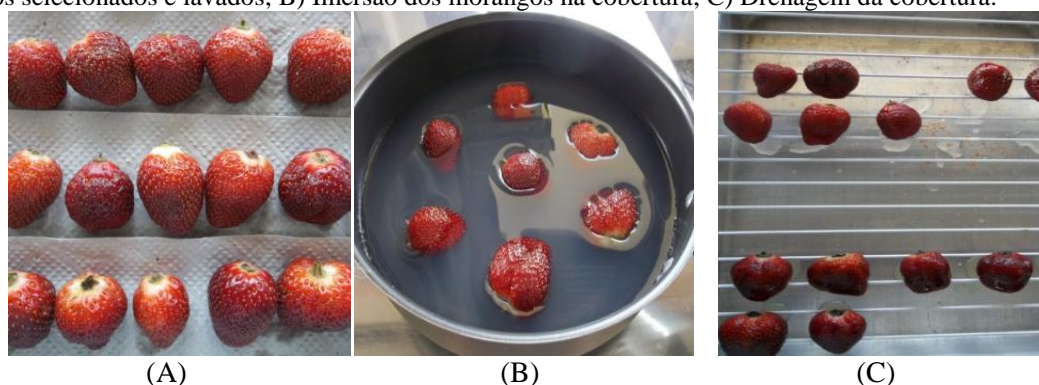
Figura 11 - Fluxograma do Processamento mínimo dos morangos recobertos com cobertura enriquecida com beta-caroteno.



Fonte: Próprio autor



Figura 12 - Processamento mínimo dos Morangos enriquecidos com beta-caroteno. A) Secagem dos morangos selecionados e lavados; B) Imersão dos morangos na cobertura; C) Drenagem da cobertura.



A) Secagem dos morangos selecionados e lavados; B) Imersão dos morangos na cobertura; C) Drenagem da cobertura.

Fonte: Próprio autor.

### 3.2.6.1.2 Tratamentos

Cinco tratamentos diferentes foram planejados para realizar a cobertura dos morangos.

- A) Cobertura sem adição de partículas: os morangos foram mergulhados em biofilme a 23°C por 3 minutos.
- B) Cobertura com microgéis de  $\beta$ -caroteno encapsulado pelo método de gelificação iônica: os morangos foram mergulhados em biofilme contendo microgéis de  $\beta$ -caroteno em uma concentração de 0,7% a 23°C por 3 minutos.
- C) Cobertura com partículas de vitamina A comercial encapsulada pelo método de coacervação: os morangos foram mergulhados em biofilme contendo partículas de vitamina A em uma concentração de 0,7% a 23°C por 3 minutos.
- D) Cobertura com partículas de ferro comercial encapsulado pelo método de lipídios: os morangos foram mergulhados em biofilme contendo partículas de ferro em uma concentração de 0,7% a 23°C por 3 minutos.
- E) Cobertura com farinha de cenoura: os morangos foram mergulhados em biofilme contendo farinha de cenoura em uma concentração de 0,7% a 23°C por 3 minutos.

## 3.2.7 Análises Físicas

### 3.2.7.1 Eficiência de encapsulação

A eficiência da tecnologia de encapsulação por gelificação iônica foi calculada conforme a Equação 1:

$$EE(\%) = 100 \times \frac{[\beta\text{-caroteno}]_{\text{particula}}}{[\beta\text{-caroteno}]_{\text{total}}} \quad \text{Eq. 1}$$

Os teores de  $\beta$ -caroteno foram determinados segundo o método proposto por Rodrigues-Amaya (2001). Os carotenóides foram extraídos utilizando-se uma mistura de acetona e hexano na proporção 4:6 (acetona:hexano). Os extratos foram submetidos à leitura em espectrofotômetro modelo SP-2000 da Edutec (Curitiba, Brasil) no comprimento de onda de 450 nm. Para o cálculo do  $\beta$ -caroteno utilizou-se a Equação 2.

$$x = \frac{A \cdot FD \cdot 10^6}{\Sigma \cdot 100} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde A é a absorbância de cada leitura realizada no comprimento de onda de 450 nm; FD é o fator de diluição da amostra;  $\Sigma$  é o coeficiente de absortividade do  $\beta$ -caroteno.

Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g/g}$  e  $\mu\text{g}/100 \text{ mL}$  de amostra fresca.

### 3.2.7.2 Determinação das propriedades mecânicas

A avaliação das propriedades mecânicas das frutas foi realizada por meio de ensaios de punção com o auxílio do texturômetro modelo CT3 25K da Brookfield (EUA). As amostras foram colocadas em superfície plana do equipamento até que o probe penetrasse totalmente. Todas as amostras foram recobertas com cobertura comestível a base de fécula de mandioca e apresentaram a mesma concentração de partículas (0,7%p/p). O objetivo de avaliar-se as propriedades mecânicas de morangos minimamente processados foi perceber o efeito dos diferentes métodos de encapsulação identificados como mais promissores neste presente trabalho, sobre a textura.

A força máxima de penetração (N) foi determinada por ensaios de punção, utilizou-se um probe cilíndrico de aço inox com base plana de 4 mm de diâmetro. A força máxima de penetração foi definida a partir da média de 7 forças máxima, necessárias para que o probe penetrasse nos morangos uma profundidade de 8 mm a uma velocidade de 2mm/s (ROJAS-GRAÜ et al., 2007).



### 3.2.7.3 Cor

A cor superficial das amostras foi determinada em colorímetro modelo Color Quest CQX 3725 SPEX-SAV-RETRO da Hunter Lab (Alemanha) através do sistema de leitura de três parâmetros, CIELAB (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, 1971). Medições de coloração foram expressas em termos da luminosidade  $L^*$  ( $L^*=0$  preto e  $L^*=100$  branco) e da cromaticidade definida por  $a^*$  ( $+a^*$ =vermelho e  $-a^*$ =verde) e  $b^*$  ( $+b^*$ =amarelo e  $-b^*$ =azul). Com estes parâmetros foram avaliadas as coordenadas cilíndricas  $C^*$  e  $H^*$ , onde  $C^*$  define o croma e  $H^*$  o tom, a partir das Equações 3, 4 e 5.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$H^* = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Eq. 4}$$

$$E = \sqrt{a^{*2} + b^{*2} + L^2} \quad \text{Eq.5}$$

Para determinação da cor, foram utilizados 7 morangos para cada tratamento, sendo realizadas 1 leitura em cada morango. Visando determinar variações na cor causadas apenas pela aplicação da cobertura (e não por possíveis variações das amostras), sendo o resultado final a média das 7 leituras (GARCIA, 2009).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Viabilidade de produção de microgéis contendo $\beta$ -caroteno de cenoura

Neste estudo desenvolveu-se microgéis contendo  $\beta$ -caroteno de cenoura por uma tecnologia social. Para tal, utilizou-se um pulverizador comumente encontrado na agricultura familiar para gerar as gotas da solução gelificante. Foram testados dois biopolímeros gelificantes (alginato e proteínas do soro desnaturadas) em diferentes concentrações.

Para microgéis com morfologia tipo matriz o extrato hidrofílico de cenoura foi misturado à solução concentrada de alginato em uma concentração suficiente para obter-se um “claim” RICO EM VITAMINA A, no caso do microgel ser aplicado em

coberturas comestíveis e estas sobre frutas minimamente processadas. Esta mistura foi então aspergida ou gotejada sobre uma solução de 4% de cloreto de cálcio ou uma solução de 5% ácido acético/4% cloreto de cálcio contendo traços de Tween 80 a fim de gelificar as gotículas formadas.

Para obter-se microgéis com morfologia matriz com óleo homogeneamente distribuído, preparou-se uma emulsão o/a de óleo-cenoura em solução biopolimérica. Esta emulsão foi gotejada ou aspergida sobre uma solução de 4% de cloreto de cálcio contendo traços de Tween 80 a fim de gelificar a fase aquosa. A Tabela 10 apresenta uma comparação entre as diferentes formulações testadas nos dois métodos: gotejamento e pulverização.

Tabela 10 - Produção de microgéis por gelificação iônica com diferentes emulsões.

Amostra	Concentração (%)	Método de gotejamento	Método de pulverização
Alginato	1	- formou partículas gelificadas - partículas esféricas - gelificou na presença de cálcio	- formou partículas gelificadas - partículas elipsóides - gelificou na presença de cálcio
	1,5	- formou partículas gelificadas - partículas esféricas - gelificou na presença de cálcio	- Não foi possível atomizar - Não formou partículas gelificadas
	2,0	- formou partículas gelificadas - partículas esféricas - gelificou na presença de cálcio	- Não foi possível atomizar - Não formou partículas gelificadas
Emulsão extrato	1:5	- formou partículas gelificadas - gelificou em presença	- Possível atomizar - Não formou partículas gelificadas

hidrofóbico :sol. Alginato 1%		de Cálcio - partículas esféricas - microgéis filamentosos	
WPI (desnaturada)	10	- formou partículas - gelificou em presença de 5% ácido láctico e 4% Cálcio - partículas esféricas - microgéis particulados	
Emulsão Extrato hidrofóbico :sol. WPI 10%	1:5	- não formou partículas gelificadas	

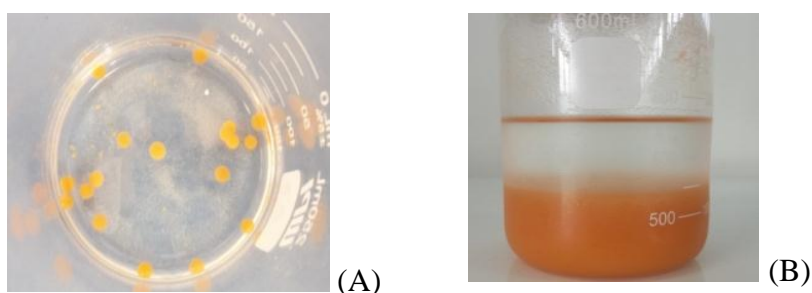
Foram testadas diferentes concentrações de alginato (1%, 1,5%, 2%), todas formaram microgéis por gotejamento, porém a única concentração que formou partículas pelo método de pulverização foi alginato a 1% devido às outras concentrações não formarem gotas na saída do bico atomizador e sim um jato da solução, sendo impossível a formação de partículas. Isto ocorreu possivelmente devido a alta viscosidade das soluções com mais de 1% de alginato.

A Figura 13 apresenta os microgéis contendo  $\beta$ -caroteno formados a partir de mistura de suco com alginato (concentração final de alginato de 1%). As gotas de alginato ao encontrarem-se com íons de cálcio gelificam da superfície externa para o centro da gota por difusão dos íons cálcio. Para que este método resulte em partículas gelificadas é necessário que o processo de gelificação ocorra mais rápido que o processo de dissolução das gotas aquosa dentro da solução iônica aquosa. As partículas apresentaram-se esféricas e translúcidas no método por gotejamento, e a concentração de alginato utilizada permitiu a formação de partículas por pulverização.

A emulsão óleo-cenoura : solução de alginato 1% (1:5) formou partículas gelificadas por gotejamento (Figura 14), pois uma solução de alginato ao encontrar-se com íons de cálcio ela gelifica gerando partículas com características diferentes

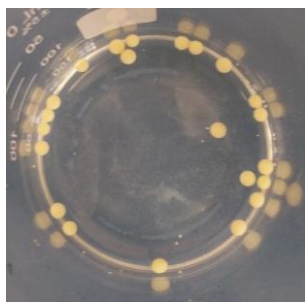
dependendo das concentrações utilizadas. As partículas apresentaram-se esféricas e translúcidas, porém não foi possível formar microgéis por pulverização. Acredita-se que durante a pulverização o óleo migrou para a superfície das pequenas gotas devido uma separação de fases. Quando esta gota desestabilizada encontrou a solução iônica não houve uma rápida gelificação da fase exterior da gota, visto que tinha-se óleo e não alginato na superfície da gota.

Figura 13 - Microgéis de alginato contendo  $\beta$ -caroteno. A) Produzidas pelo método de gotejamento; B) Produzidas pelo método de pulverização.



Fonte: Próprio autor.

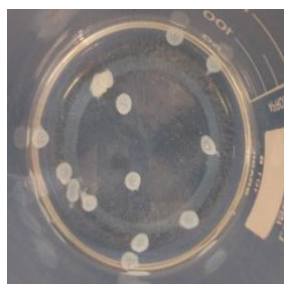
Figura 14 - Partículas óleo:solução de alginato produzidas pelo método de gotejamento.



Fonte: próprio autor.

A solução de proteína do soro do leite (10%) desnaturada não formou partículas apenas na presença de íons de cálcio, desta forma foi necessária a adição de ácido láctico (5%) para que os microgéis fossem formados. Os microgéis apresentaram-se esféricos e esbranquiçados, o que é típico de géis particulados, (Figura 15), mas após 48 horas em água destilada dissolveram-se completamente.

Figura 15 - Partículas de Proteína do soro do leite (desnaturada) produzidas pelo método de gotejamento.



Fonte: Próprio autor.

A emulsão óleo-cenoura:solução WPI 10% (1:5) não formou partículas por gotejamento ao encontrar-se com íons cálcio tornando toda solução de cálcio (4%) oleosa, mas sem partículas.

Em todas as soluções que formaram microgéis primeiramente ocorreu a formação das gotas em seguida a gelificação destas. As soluções que não formaram partículas pelo método de gotejamento não foram testadas pelo método de pulverização, exceto a solução de WPI desnaturada (10%), a qual formou partículas pelo método de gotejamento, mas por estas partículas terem se dissolvido após 24h, esta solução de proteína desnaturada não foi utilizada no método de pulverização.

Os resultados apresentaram que o melhor material/tecnologia para formação de microgéis por pulverização foi alginato (1%) misturado ao suco de cenoura. Esta formulação foi utilizada nos demais ensaios com coberturas comestíveis.

### 3.3.2 Microscopia dos microgéis

O objetivo da análise microscópica foi identificar a morfologia das partículas produzidas por gelificação iônica. Como mostra a Figura 16, as partículas apresentaram-se pequenas e dispersas sem aglomeração do material e com formato oval. Este formato se dá devido à agitação constante da solução iônica gelificante (cloreto de cálcio) que causa alongamento das gotas de alginato enquanto estas não estão completamente gelificadas. A solução de alginato em contato com íons cálcio tem a sua superfície gelificada rapidamente, no entanto o núcleo de cada gota permanece não gelificado por certo período de tempo. A gelificação do interior do microgel ocorre quando os íons cálcio difundem até o centro da partícula.

Observa-se também na Figura 16 que os microgéis apresentaram certa incorporação de ar (pontos escuros no interior dos microgéis), a qual ocorreu possivelmente durante o processo de pulverização. Não foi possível neste trabalho determinar o tamanho das partículas devido a limitações do microscópio utilizado, o qual não forneceu escala da foto.

Figura 16 - Microscopia dos microgéis.



Fonte: Próprio autor.

### 3.3.3 Eficiência de Encapsulação do $\beta$ -caroteno

A eficiência de encapsulação de beta-caroteno nos microgéis foi calculada a partir da Equação 1. Para tal, foram quantificadas as concentrações de  $\beta$ -caroteno no suco de cenoura, nos microgéis e na solução iônica de cálcio após a retirada dos microgéis (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados da quantificação de  $\beta$ -caroteno por análise espectrofotométrica.

Amostra	Concentração $\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )
Extrato de cenoura	8046
Microgéis	1800
Solução de iônica de Cálcio	0,0001

Obteve-se uma concentração de 8.046  $\mu\text{g}$   $\beta$ -caroteno/100 mL suco, o que está de acordo com valores encontrados na literatura. Neste trabalho, foi possível desenvolver microgéis com uma concentração de no mínimo 1,8 mg  $\beta$ -caroteno/100 g microgel.

A concentração inicial de  $\beta$ -caroteno da mistura alginato/suco cenoura, a qual é igual a concentração teórica de  $\beta$ -caroteno nos microgéis, foi calculada para microgéis elaborados na proporção de 2:1 de solução de alginato:suco cenoura. Assim:

$$\frac{8000 \mu g \beta - \text{caroteno}}{100 g \text{ suco}} \times \frac{100 g \text{ suco}}{(100 g \text{ suco} + 200 g \text{ sol. alginato})} = \frac{2667 \mu g \beta - \text{caroteno}}{100 g \text{ mistura}}$$

A eficiência de encapsulação foi calculada pela Equação 1, tendo-se obtido 67,5%.

$$EE (\%) = \frac{[\beta - \text{caroteno}]_{\text{particula}}}{[\beta - \text{caroteno}]_{\text{total}}} \times 100 = \frac{1800 \mu g \text{ cápsula}}{2667 \mu g \text{ mistura total}} \times 100 = 67,5\%$$

A concentração de beta-caroteno na solução de cloreto de cálcio utilizada na gelificação também foi quantificada, a fim de avaliar se esta molécula migrou para a solução gelificante durante o processo de formação dos microgéis. O resultado apresentado na Tabela 11 indica uma concentração nula do componente.

Alguns fatores podem ter interferido no método de quantificação do beta-caroteno nas partículas, como a não completa extração do componente dos microgéis e/ou uma possível degradação dos carotenóides ocasionando a perda de cor, da atividade de vitamina A e de outras atividades. Na degradação dos carotenóides os fatores que mais influenciam são: estrutura do carotenóide, temperatura, presença de oxidantes e antioxidantes, tempo de exposição à fatores físico-químicos e exposição à luz, que pode fazer a ruptura das estruturas, formando compostos incolores de baixo peso molecular (RODRIGUES-AMAYA, 2008).

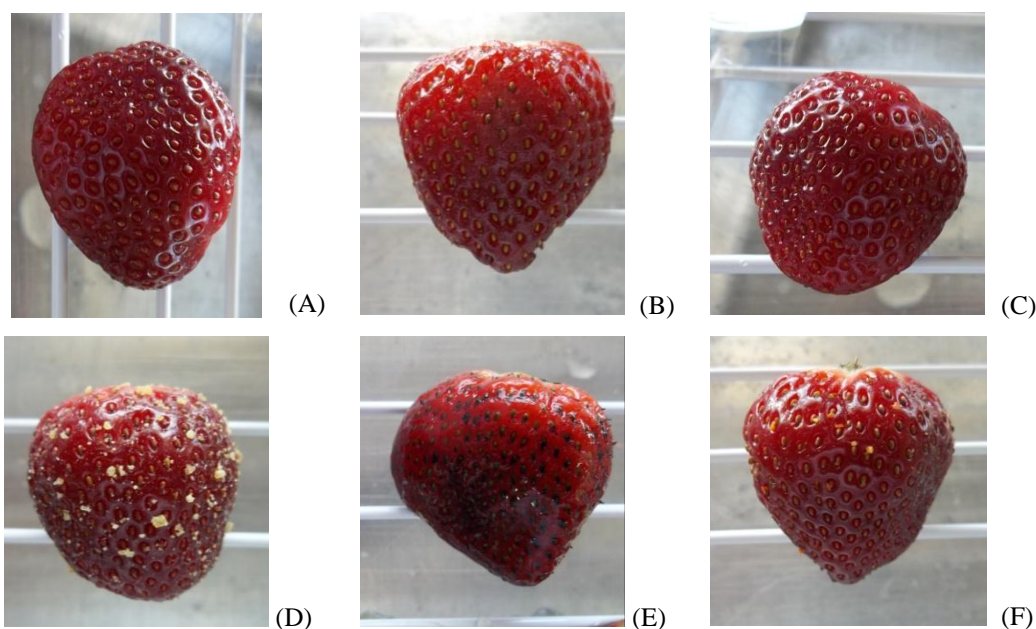
Assim, conclui-se que a eficiência da encapsulação do bioativo pela metodologia de gelificação iônica variou entre 67 a 100%.

### **3.3.4 Aplicação de coberturas comestíveis contendo micropartículas sobre morangos minimamente processados**

#### **3.3.4.1 Caracterização visual**

Micropartículas, comerciais ou produzidas neste trabalho, obtidas pelas tecnologias identificadas como promissoras (Capítulo 3 foram) incorporadas em cobertura a base de fécula de mandioca e aplicadas sobre morangos minimamente processados. A concentração de 0,7% de partículas / 100 g cobertura foi definida a partir dos ensaios preliminares com biofilme apresentados no Capítulo 3. A Figura 17 apresenta cada um dos tratamentos realizados.

Figura 17 - Aspecto visual de morangos minimamente processados com coberturaa adicionada de diferentes tipos de partículas. A) Morango fresco sem cobertura comestível; B) Morango com cobertura comestível; C) Morango com cobertura comestível adicionada de micropartículas de  $\beta$ - caroteno encapsuladas pelo método de gelificação iônica; D) Morango com cobertura comestível adicionada de partículas de vitamina A comercial encapsuladas pelo método de coacervação; E) Morango com cobertura comestível adicionada de partículas de ferro comercial encapsuladas pelo método de lipídeos; F) Morango com cobertura comestível adicionada de farinha de cenoura.



Fonte: próprio autor.

Verificou-se através de observação visual que a espessura final da cobertura nos morangos foi reduzida, isso se deve a drenagem ou “escorrimento” do biofilme após a aplicação do mesmo.

As coberturas mostraram boa aderência, transparência e brilho na superfície do morango, exceto a cobertura adicionada de farinha de cenoura e a cobertura com micropartículas vitamina A. A farinha de cenoura (Figura 17. F) não fixava na superfície do morando devido sua densidade ser mais alta quando comparada com as



partículas de lipídeos sólidos (Figura 17. E), microgéis (Figura 17. C) e coacervação (Figura 17. D).

Na produção de cobertura comestível de amido puro aplicada em morango Colla (2004) verificou boa aderência na superfície do fruto, bem como um brilho intenso, onde a qualidade visual foi mantida por mais tempo quando comparados com morangos sem cobertura.

Os morangos sem cobertura comestível, com cobertura comestível e com cobertura adicionada de microgéis de  $\beta$ -caroteno apresentaram-se semelhantes (Figura 17. A, B, C). As partículas de  $\beta$ -caroteno produzidas por gelificação iônica não podem ser identificadas visualmente, o que permite a adição destas partículas sem que elas sejam percebidas (Figura 17. C).

Os morangos com cobertura adicionada de partículas de vitamina A apresentaram-se arenosos. Estas partículas foram produzidas pelo método de coacervação complexa, isto permite que elas possam ser facilmente percebidas devido ao tamanho e a densidade, o que as fizeram não incorporar na cobertura ficando na superfície da mesma (Figura 17. D). No entanto, as partículas de menores tamanho apresentaram-se na matriz da cobertura, ficando imperceptíveis ao olho humano. Portanto, faz-se necessário produzir partículas coacervadas com tamanhos médios abaixo de 80 micrometros.

Os morangos com cobertura adicionada de partículas ferro apresentaram-se escuros (Figura 17. E) devido a interação do ferro superficial com os frutos. As micropartículas de ferro foram produzidas pelo método de lipídeos sólidos. No entanto, avaliando-se apenas o impacto do uso da tecnologia de lipídeos sólidos, pode-se afirmar que as partículas produzidas por este método adequaram-se a aplicação, pois não podem ser percebidas visualmente (Figura 17. E). O objetivo da utilização de micropartículas de ferro foi avaliar as características do método de encapsulação o qual se mostrou promissor neste presente trabalho, e não avaliar o ferro presente nesta micropartícula.

#### **3.3.4.2 Propriedades mecânicas**

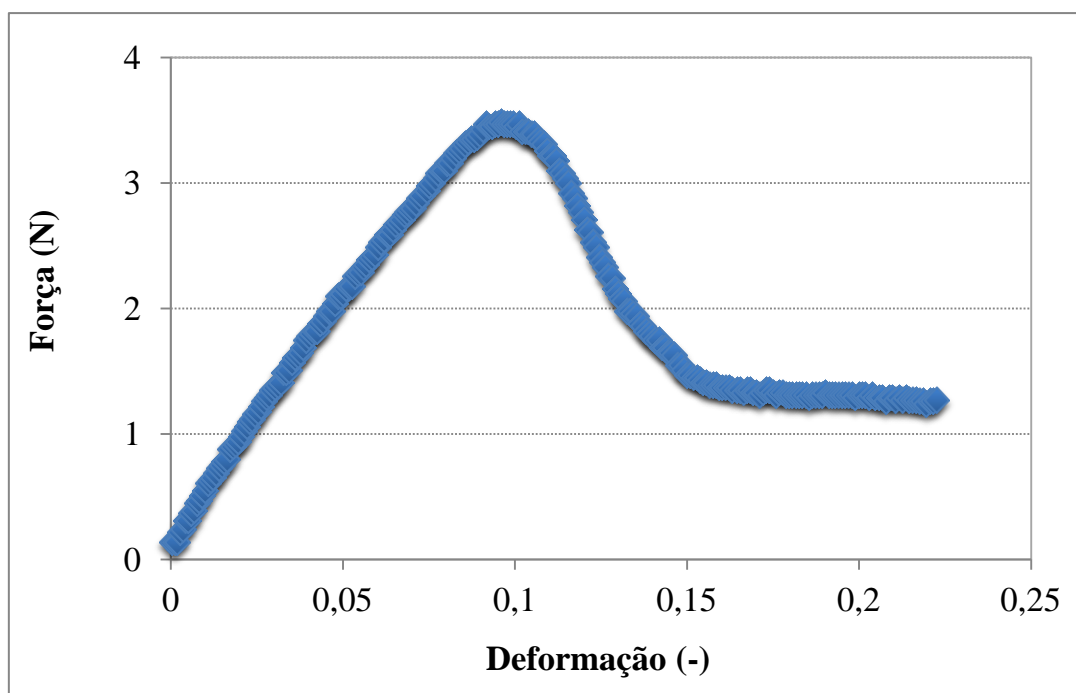
Dentre os fatores mais importantes utilizados na avaliação de qualidade de frutas estão as propriedades mecânicas. Estas propriedades são muito variáveis e são

conferidas principalmente pela composição da parede celular, turgor e anatomia das células, pelo conteúdo de água e nível de maturação (GARCIA, 2009).

O resultado do ensaio de punção apresentado na Figura 18 relaciona força de penetração por deformação da amostra. Este gráfico é representativo para todos os ensaios realizados. Com a penetração da geometria na amostra o equipamento mede a força de resistência até um valor máximo (3,4 N), que representa o momento de penetração. Durante esta fase, a amostra é deformada, mas não ocorre o rompimento da casca. Esta fase termina abruptamente, quando a geometria rompe a casca e começa a atravessar a polpa. Após esse pico percebe-se um decréscimo da força, visto que a resistência à penetração da geometria é menor no interior da amostra.

Para morangos com ou sem partículas na cobertura observou-se que a deformação no momento da penetração assume um valor muito baixo em relação a outros alimentos, tendo sido obtido uma deformação de 9% para a amostra da Figura 18, este baixo valor pode ser explicado devido a baixa elasticidade deste tipo de fruto.

Figura 18 - Ensaio de punção: variação da Força com a deformação de morangos minimamente processados.

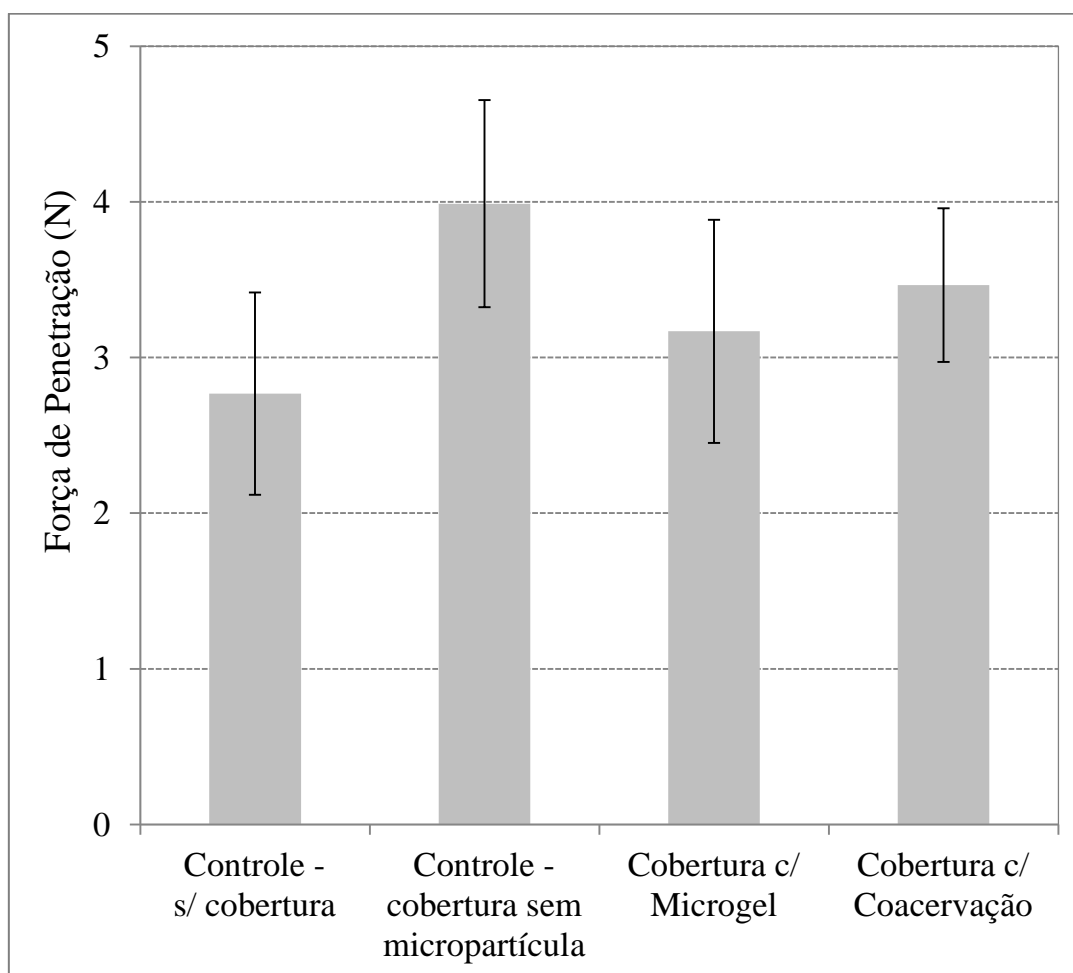


A Figura 19 apresenta o efeito dos tipos de cobertura sobre a força de penetração em morango minimamente processados. As coberturas testadas não apresentaram diferença entre si e em relação ao morango fresco. A força de penetração média para cada tratamento variou entre 2,8 e 4,8 N. O desvio padrão entre as amostras destes

ensaios (para cada tratamento) variou entre 0,5 e 1,3 N. Desta forma percebe-se que estes ensaios apresentaram um alto desvio, o que é característico em amostras de frutas. Isto ocorre devido a grande variabilidade do formato das frutas e de suas propriedades físicas devido a impossibilidade de obter frutas exatamente no mesmo grau de maturação.

Garcia (2009) obteve resultados semelhantes, onde não foram observadas diferenças significativas na força de penetração das amostras tratadas com cobertura e que a amostra controle sem a adição de cobertura foi o tratamento que apresentou menor força de penetração.

Figura 19 - Efeito das coberturas comestíveis com partículas produzidas por diferentes tecnologias de encapsulação sobre a firmeza (força de penetração em N) de morangos minimamente processados.



### 3.3.4.3 Cor

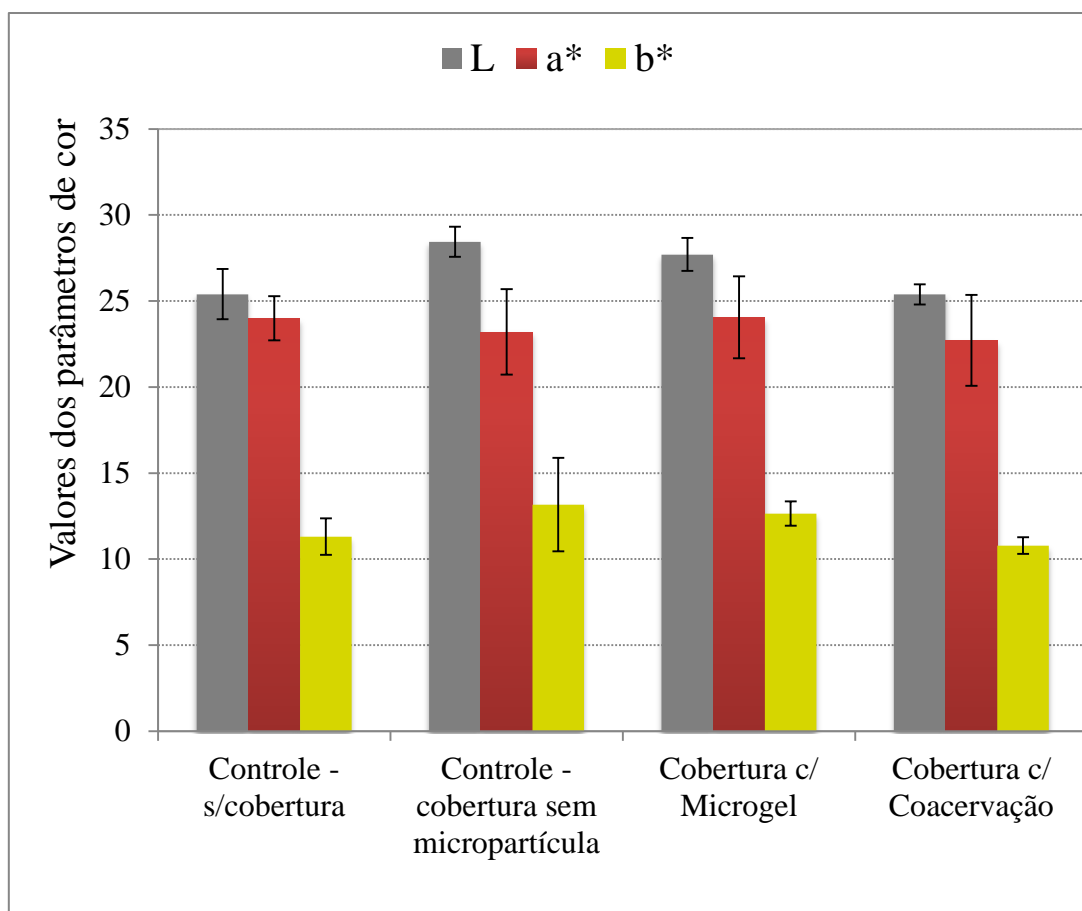
A Figura 20 mostra que os parâmetros de cor  $a^*$  e  $b^*$  apresentaram-se positivos para o morango, evidenciando as cores vermelho ( $+a^*$ ) e amarelo ( $+b^*$ ) desta fruta. A

modificação da cor ocorre durante a vida pós-colheita dos morangos como evidência de amadurecimento, é acompanhado pela diminuição da luminosidade (L), acréscimo da cor vermelha ( $+a^*$ ) e decréscimo da coloração amarela ( $+b^*$ ) (GARCIA et al., 1998). O objetivo desta análise foi avaliar o impacto das partículas adicionadas às coberturas aplicadas em morango, desta forma as amostras que continham partículas de ferro não foram analisadas devido a interação que ocorreu entre o ferro e os frutos tornando-o escuro, o que impediu a avaliação do efeito do tipo de partícula utilizada.

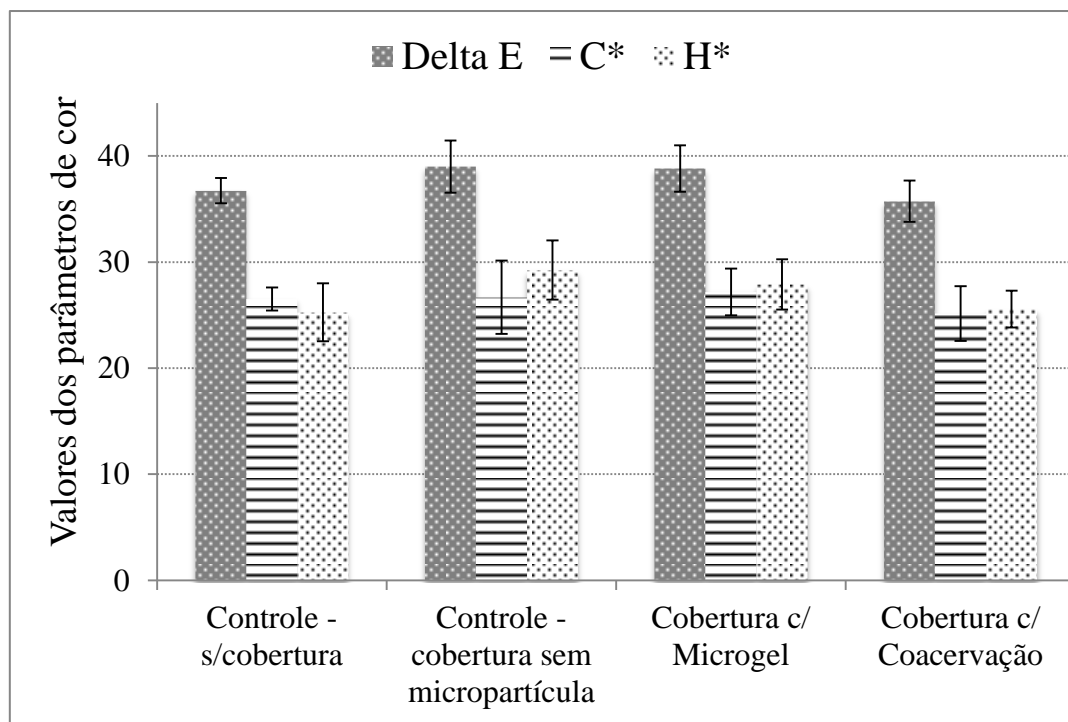
A cobertura sem adição de micropartículas tornou o morango mais claro, aumentando o parâmetro L. Ao comparar os frutos cobertos sem adição de partículas com as amostras com adição de partículas, percebe-se que apenas os microgéis não influenciaram a luminosidade. Isto confirma a translucidez dos microgéis produzidos por gelificação iônica. As demais partículas tornaram os morangos com biofilme mais escuros e apresentaram o mesmo nível de luminosidade que o morango fresco sem biofilme (Figura 20 A). Isso pode ser explicado pela coloração e opacidade destas partículas.

Figura 20 - Efeito das partículas produzidas por diferentes métodos de encapsulação adicionadas em coberturas comestíveis sobre os parâmetros de cor. A) Parâmetros primários L,  $a^*$ ,  $b^*$ ; B) Parâmetros calculados delta E,  $H^*$ ,  $C^*$ .

(A)



(B)



O croma ( $C^*$ ) expressa a saturação ou intensidade da cor, enquanto o ângulo de matiz ( $h_a$ ) indica a cor observável. Como mostra a Figura 20 não houve diferença significativa entre os tratamentos sobre os valores de  $a^*$ ,  $b^*$ , delta E,  $C^*$  ou  $H^*$ . Ou seja, o tom de cor das amostras e sua saturação (cromaticidade) não foram alterados significativamente. O parâmetro delta E reflete que não houve uma diferença total entre as cores.

Garcia (2009) testou a incorporação do sorbato de potássio à cobertura, a qual também não resultou em alteração da cor nos morangos. Resultados semelhantes foram obtidos por Ribeiro et al. (2007), que estudaram a aplicação de coberturas comestíveis a base dos polissacarídeos. Segundo estes autores, não foram observadas diferenças significativas no parâmetro croma entre as amostras controle e as que receberam as diferentes coberturas.

Hernández-Munõz et al. (2008) avaliaram, em morangos, o efeito de coberturas a base de quitosana, adicionadas ou não de gluconato de cálcio, e também não observaram variação significativa no croma e tom, das amostras após o recebimento da cobertura.

## **Capítulo 4. Conclusões Gerais**

## 4.1 CONCLUSÃO

A metodologia de Retro-Design mostrou ser uma excelente ferramenta para seleção das variáveis envolvidas na elaboração de partículas por encapsulação como: definição do público alvo, características do produto e legislação que o produto deve atender. Tendo-se claramente descritos estes tópicos em uma tabela, pode-se comparar os pré-requisitos tecnológicos do projeto com as características de cada processo de encapsulação. Assim, excluindo-se os processos que não contemplam o projeto obtivemos como tecnologias/micropartículas promissoras para o presente projeto: coacervação, gelificação iônica, partículas de lipídeos sólidos e emulsão com interface polimerizada. Classificando estas micropartículas por ordem de prioridade de acordo com suas vantagens e desvantagens tecnológicas tem-se primeiramente as partículas coacervadas e os microgéis, visto que as partículas lipídicas precisam passar por aquecimento longo durante seu processamento e a emulsão polimerizada apresenta uma membrana muito fina. Estes dois aspectos podem facilitar a oxidação do beta-caroteno.

As partículas coacervadas apresentam a vantagem de ter uma camada polimérica densa ao redor das gotas de óleo, o que pode retardar a difusão de oxigênio e oxidação do beta-caroteno. Por outro lado, a alta concentração de óleo dos coacervados e seu tamanho de partícula promovem flotação destas partículas quando aplicadas em coberturas comestíveis. Os microgéis apresentam as seguintes vantagens: 1- possuem um tamanho menor que 80µm não sendo percebido visualmente na cobertura comestível; 2- podem ser translúcidos não alterando a cor do biofilme; 3- os microgéis são produzidos por uma tecnologia branda (não necessitando de aplicação de calor); 4- são insolúveis em água e podem apresentar densidade semelhante ao biofilme.

Neste trabalho, foi possível desenvolver microgéis com uma concentração de no mínimo 1,8 mg  $\beta$ -caroteno/100 g microgel através de uma tecnologia social. Utilizou-se um pulverizador agrícola para produção das partículas. A eficiência da encapsulação do bioativo pela metodologia de gelificação iônica variou entre 67 a 100%, o que significa que a tecnologia empregada é viável para produção de micropartículas contendo  $\beta$ -caroteno.

Partículas produzidas por gelificação iônica e adquiridas comercialmente (coacervação e lipídeos sólidos) foram adicionadas a coberturas comestíveis e aplicadas



sobre morangos minimamente processados. Na avaliação visual dos frutos, as tecnologias que mais se adequaram foram a gelificação iônica e partículas produzidas por lipídeos, as quais não alteraram o aspecto natural do fruto. A tecnologia de coacervação não se adequou devido as partículas produzidas por este método apresentarem densidade inferior à cobertura comestível, o que não permitiu a incorporação das partículas no mesmo, também apresentam tamanhos inadequados para a aplicação em coberturas, pois são totalmente percebidas quando adicionadas ao fruto. Outro material adicionado à cobertura comestível foi a farinha de cenoura, a qual assim como as partículas produzidas por coacervação apresentaram tamanhos inadequados. A farinha de cenoura por ser muito densa não aderiu a superfície do fruto durante a drenagem da cobertura.

Com relação as propriedades físicas das frutas enriquecidas, não foi percebida diferença significativa em relação à cor e a textura dos morangos com coberturas comestíveis contendo diferentes tipos de partículas. Isto significa que as partículas adicionadas à cobertura não conferem alteração dos aspectos naturais do fruto.

#### **4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Os resultados obtidos indicaram algumas linhas para continuidade do presente trabalho:

1. Produzir micropartículas contendo  $\beta$ -caroteno de cenoura utilizando as técnicas identificadas como promissoras neste trabalho, mas não executadas, como: 1- coacervação complexa com uso de proteínas globulares; 2- nanopartículas de lipídeos sólidos; 3- emulsão com polimerização interfacial.
2. Avaliar o processo de secagem das micropartículas
3. Estudar diferentes formulações de suco/biopolímero na produção de micropartículas contendo  $\beta$ -caroteno de cenoura.
4. Desenvolver processos de aumento de escala para a aplicação da cobertura contendo partículas sobre frutas minimamente processadas.
5. Estudar alternativas para melhorar a distribuição / homogeneidade das partículas contendo  $\beta$ -caroteno no biofilme.
6. Avaliar a vida de prateleira das micropartículas e de frutas minimamente processadas enriquecidas com as micropartículas.
7. Aplicar as micropartículas contendo  $\beta$ -caroteno em outras categorias de

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 12806. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 8p.

ALISEDA, A.; HOPFINGER, E. J.; LASHERAS, J. C.; KREMER, D. M.; BERCHIELLI, A.; CONNOLLY, E. K. Atomization of viscous and non-newtonian liquids by a coaxial, high-speed gas jet. Experiments and droplet size modeling. **International Journal of Multiphase Flow**, v. 34, n. 2, p. 161-175, 2008.

ALVES, G. P.; SANTANA, M. H. A. Phospholipid dry powder produced by spray during processing: structural, thermodynamic and physical properties. **Powder Technology**, v. 145, 139-148, 2004.

ALVIM, I. D. **Produção e caracterização de micropartículas obtidas por spray drying e coacervação complexa e seu uso para alimentação de larvas de peixes**. 2005. 277 f.. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

AMARAL, I. C. et al. Avaliação Textural de Alimentos Congelados. **XXII Congresso de Pós-Graduação – UFLA**, 14 a 18 de outubro de 2013.

AMBRÓSIO, C.L.B.; SIQUEIRA CAMPOS, F.A.C.; FARO, Z.P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, 19, 233-243, 2006.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; BRUNO, L. M.; PINTO, G. A. S.; Métodos de conservação de alimentos. AZEREDO, H. M. C. (Ed.). **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. p.97-128.

AZEREDO, H. M. C. de. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

BRAGA, A. L. M.; UBBINK, J. **An Industrial Approach to Design / Screen Encapsulates for Best Performance in Products: Fish Oil Case**. 1st South-American Symposium on Microencapsulation. April 2012.

BATISTA FILHO, M.; RISSIN, A. Deficiências nutricionais: ações específicas do setor de saúde para o seu controle. **Cad Saude Publ**, p. 130–135, 1993

BRADY, P.L.; MAYER, S.M. Correlation of sensory and instrumental measures of bread texture. **Cereal Chemistry**, v.62, p.70-2, 1985.

BRANNON-PEPPAS, L. Controlled release in the food and cosmetics industries. **Polymeric delivery systems: properties and applications**, cap. 3, p.42-52, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Manual de Condutas Gerais do Programa Nacional de Suplementação de Vitamina A. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 34 p.

BRASIL. Resolução ANVISA RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico sobre Ingestão diária Recomendada (IDR) para Proteína, Vitaminas e Minerais. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 23 de set. 2005.

BRASIL. SVS/MS - Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 31, de 13 de janeiro de 1998. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 16 de jan. de 1998.

BRITTON, G. Carotenoids. **Natural foods colorants**, Hendry, G.F., Blackie, New York, p.141-148, 1992.

BORGES, J. T. S. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim do CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 145-162, 2006.

BURGESS DJ, PONSART S beta-Glucuronidase activity following complex coacervation and spray drying microencapsulation. **Journal of Microencapsulation** v.15, n. 5, p. 569-579, 1998.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v.94, n.3, p. 223-253, 2004.

CARDOSO, F. S. N. **Produção de microencapsulados de amido com recobrimento em leite fluidizado**. 2000, 65p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

CHAMPAGNE, C. P.; FUSTIER, P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Current Opinion in Biotechnology**, 18 (2), p. 184-190, 2007.

CHAN, E. S.; LEE, B. B.; RAVINDRA, P.; PONCELET, D. Prediction models for shape and size of ca-alginate macrobeads produced through extrusion-dripping method. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 338, n. 1, p. 63-72, 2009.

CHIUMARELLI, M. **Aplicação de coberturas comestíveis à base de fécula de mandioca e cera de carnaúba em maçãs minimamente processadas**. 2011. 281f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011

COLLA, E. **Biofilmes de Farinha de Amarantho Adicionados de Ácido Esteárico: elaboração e aplicação em morangos frescos (*Fragaria ananassa*)**. 2004. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

COMUNIAN, T. A. **Microencapsulação de ácido ascórbico por coacervação complexa e dispositivos microfluídicos: estudo estrutural, estabilidade e aplicação das microcápsulas**. 190f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J.-A. e VOILLEY, A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. **Critical Reviews in Food Science** p. 299-313, 1998.

DEPYPERE, F. et al. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Appl. Biotechnol. Food Sci. Pol.**, v.1, n.2, p.75-94, 2003.

DURING, A.; HARRISON, E. H. Intestinal absorption and metabolism of carotenoids: Insights from cell culture. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 430, 77–88, 2004.

DZIEZAK, J.D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technol.**, v.42, n.4, p.136-151, 1988.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Produção de hortaliças no Brasil, 2013**. Disponível em: <[http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas\\_em\\_numeros/producao\\_hortalicas.pdf](http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicas_em_numeros/producao_hortalicas.pdf)>. Acesso em: 09 de jun de 2014.

EMPRAPA HORTALIÇAS. **Cenoura (*Daucus carota*)**, 2008. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cenoura/Cenoura\\_Daucus\\_Carota/importancia\\_economica.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cenoura/Cenoura_Daucus_Carota/importancia_economica.html)>. Acesso em: 09 de jun de 2014.

FALGUERA, V.; QUINTERO, J. P.; JIMÉNEZ, A.; MUÑOZ, J. A.; IBARZ, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n.6, p. 292-303, 2011.

GARCIA, L. C. **Aplicação de coberturas comestíveis em morangos minimamente processados**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (*Fragaria ananassa*) quality and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 3758-3767, 1998.

GAYA, LG; FERRAZ, JBS. **Aspectos genético-quantitativos da qualidade da carne em frangos**. Ciência Rural, Santa Maria. v.36, n.1, p. 439-356, 2006.

GENNADIOS, A. e WELLER, C.L. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. **Food Technology**, p. 63-69, 1990.

GIBBS, B. F.; KERMASHA, S.; ALLI, I.; MULLIGAN, C. N. Encapsulation in the food industry: a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v.50, p.213-224, 1999.

GOUIN, S. Microencapsulation – industrial appraisal of existing Technologies and trends. **Trends in Food Science and Technology**, v.15, n.7-8, p.330-347, 2004.

HAEGELE, A. D.; GILLETTE, C.; O'NEILL, C.; WOLFE, P.; HEIMENDINGER, J.; SEDLACEK, S. Plasma xanthophyll carotenoids correlate inversely with indices of oxidative DNA damage and lipid peroxidation. **Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.** v. 9, n. 4, p. 421-425, 2000.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; DEL-VALLE, V.; VELEZ, D; GAVARA, R. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 110, p.428-435, 2008.

IBGE, Censo Demográfico 2010. Distribuição percentual da população por grandes grupos de idade Brasil – 2010. Disponível em: < <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao>>. Acesso em: 06 de set. de 2014.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and Food Industry. **LWT – Food Science and Technology**, v.24, n.4, p. 289-297. 1991.

JOHNSON, E. A; SCHROEDER W. A. Singlet oxygen and peroxy radicals regulate carotenoid biosynthesis in *Phaffia rhodozyma*. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 270, p. 18374 – 18379, 1995.

KAREL, M.; LANGER, R. Controlled release of food additives. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. **Flavor encapsulation**. Washington, DC: ACS, p.29-36, 1988.

KALOGIANNIS, C. G.; MICHAIOF, C. M.; PANAYIOTOU, C. G. Microencapsulation of Amoxicillin in Poly(L-lactic acid) by Supercritical Antisolvent Precipitation. **Industrial Engineering and Chemical Research**, v. 45, n. 25, p. 8738-8743, 2006.

KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R., Edible Films and Coatings. **Food Technology**. v. 40, n.12, p.47-59, 1986.

KRUIF, C. G.; WEINBRECK, F.; VRIES R. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 9, p. 340 349, 2004.

LAMBERT, J. M.; WEINBRECK, F.; KLEEREBEZEM, M. In vitro analysis of protection of the enzyme bile salt hydrolase against enteric conditions by whey protein-gum arabic microencapsulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56 (18), p.8360-8364, 2008.

LANA, M. M; VIEIRA, J. V.; SILVA, J. B. C.; LIMA, D. B. L. Cenourete e catetinho: minicenouras brasileiras. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 376-379, 2001.

LANA, M. M. **Aspectos da fisiologia de cenoura minimamente processada** Horticultura Brasileira, Brasília. v. 18, n. 3, p. 154-158, 2000.

LANA, M. M.; VIEIRA, J. V. **Fisiologia e manuseio pós-colheita de cenoura**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 16 p. (Circular Técnica 21).

LASON, E.; WSKI, O. **Solid Lipid Nanoparticles – characteristics, application and obtaining**. CHEMIK 2011, v. 65,n. 10, p. 960-967, 2011.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C. C.; GODOY, R. L. O. SABAA-SRUR, A. U. Efeito da irradiação ionizante g na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota L.*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 202-208, 2001.

LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, v.21, p.928-935, 2007.

LUCIANO, A.T. et al. Produção e renda bruta de cenoura „Brasília“ em cultivo solteiro e consorciado com cravo-de-defunto. **Dourados**, v.3, n.8, p.140-146, 2010.

MARTINAZZO, A. P. **Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.)** Stapf. 2006. 156p. Tese (doutorado). Viçosa, MG.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola – revisão. **Rev. Fac. Zootec. Vet. Agro.**, Uruguaiana, v.9, n.1. p. 83-93, 2003.

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. **Ciênc. Tecnol. Alim.**, v.23, p.102-105, 2003.

MEZZOMO, N. **Extração e encapsulamento de compostos com importância tecnológica e biológica proveniente do resíduo de processamento de camarão.** 2012. 216 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOREIRA, G. É. G. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola.** Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós graduação em Engenharia Química, Área de Concentração: Engenharia de Processos, Sub-área de Concentração: Alimentos e Biotecnologia, Natal/RN, Brasil, 2007.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. Processamento mínimo de minicenoura. In: MORETTI, C.L. (Ed.). **Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças.** Brasília: SEBRAE. p. 399-413, 2007.

MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 634-640, 2004.

NEIRO, E. S. et al. Análise de cor de para discriminação de seis variedades de cana-de-açúcar em quatro épocas de colheita no ano. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de**

**Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 1-8, 2013. NORI, M. A. Ingredientes e aditivos microencapsulados na indústria de alimentos. **Engenharia de Alimentos**, setembro, p. 33-35, 1996. OKAMOTO, S. Factors affecting protein film formation. **Cereal Foods World**, p. 256-262, 1978.

OLIVEIRA, W. P.; BOTT, R. F.; SOUZA, C. R. F. Manufacture of standardized dried extracts from medicinal Brazilian plants. **Drying Technology**. v.24, p.523-533, 2006. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Directriz: **Administración de suplementos de vitamina A a lactantes y niños 6–59 meses de edad**. Ginebra, 2011.

PALMU, P. S. T. **Preparação, propriedades e aplicação de biofilmes comestíveis a base de glúten de trigo**. 2003. 258f.. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PÉROVAL, C.; DEBEAUFORT, F.; DESPRÉ, D.; VOILLEY, A. Edible arabinoxylan-based films. Effects of lipid type on water vapor permeability, film structure, and other physical characteristics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 3977-3983, 2002.

PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; STRINGHETA, P. C.; BRANDÃO, S. C. C.; PÁEZ, H. H.; QUEIRÓZ, V. M. V. Evaluation of total carotenoids,  $\alpha$ -and  $\beta$ -carotene in carrots (*Daucus carota* L.) during home processing. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 39-44, 1998.

PRATA, A. S. **Estudo dos parâmetros físico-químicos envolvidos na formação de microcapsulas produzidas por coacervação complexa**. 2006. 267 f.. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

PIAMONTE, P. R. **Rendimento, qualidade e conservação pós-colheita de cenoura (*Daucus carota* L.) sob adubação mineral, orgânica e biodinâmica**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 110 p. 1996.

PRIAMO, W. L. **Encapsulamento de  $\beta$ -caroteno em PHBV com dióxido de carbono e avaliação da liberação *in vitro***. 2011. 168 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Pós-Graduação em Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.



RAMALHO, R. A.; FLORES, H.; SAUNDERS, C. Hypovitaminose A no Brasil: um problema de saúde pública. *Panam. Salud Publica*, 12, 117-122, 2002.

REITER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R. Sedimentation behaviour and turbidity of carrot juices in relation to the characteristics of their cloud particles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 83, p.745-751, 2003.

RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. 2003. 200f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RIBEIRO, C.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A.; MIRANDA, C. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v. 44, p. 63-70, 2007.

RIBEIRO, S. C. A.; RIBEIRO, C. F. A.; PARK, K. J.; ARAUJO, E. A. F.; TOBINAGA, S. **Alteração da cor da carne de Mapará (*Hypophthalmus edentatus*) desidratada osmoticamente e seca**. Rev. Bras. de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.9, n.2, p.125-135, 2007.

RIBEIRO, D. M. **Evolução das propriedades físicas, reológicas e químicas durante o amadurecimento da banana “Prata-Anã”**. 2006. 140 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ROCHA, G. A. **Produção, caracterização, estabilidade e aplicação de microcápsulas de licopeno**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Foods**. Departamento de Ciência de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2009

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenoides: Tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos**. Brasília: MMA/SBF. 100p. 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARTAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis** 445– 463p, 2008.

RODRIGUES, A. F. R. **Preparo, caracterização e avaliação funcional de microcapsulas obtidas por spray drying, contendo extrato de café, crioconcentrado.** Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 240p, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Assessment of the provitamin A contents of foods: the Brazilian experience. **J Food Comp Anal** , Campinas-SP, p. 196–230, 1996.

ROJAS-GRAÜ, M. A.; TAPIA, M. S.; RODRÍGUEZ, F. J.; CARMONA, A. J.; MARTÍN-BELLOSO, O. Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 118-127, 2007a.

RONCADA, M. S. Vitaminas Lipossolúveis: In: DUTRA-DEOLIVEIRA JE & MARCHINI JS. **Ciências nutricionais**. Sarvier, São Paulo, p. 167-189, 1998.

RONCADA, M. J.; WILSON, D.; NUNES, M. F.; OKANI, E. T. Hipovitaminose A em filhos de migrantes nacionais em trânsito pela cidade de São Paulo, Brasil. **Saude Publica**, p. 345–350, 1978.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa (*Eugenia uniflora* L.).** 2013. 107 f.. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

SHIMAZUL, A. A.; MALI, S.; GRASSMANN, M. V. E. Efeito plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79-88, jan./mar. 2007.

SHIMONI, N. J. Z.; SHIMONI, E. Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methodsto Make Them. In: ZUIDAM, N. J.; NEDOVIC, V. A. **Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing**. Faculty of Biotechnology and Food Engineering, Technion - Israel Institute of Technology, 2010. Capítulo 2, p. 2-28, Israel.

SOUSA, R. M. D. **Aproveitamento do resíduo oriundo do processamento mínimo de cenoura no desenvolvimento de novos produtos alimentícios.** 2008. 137f.. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.

SOUSA, S. **Revestimento ativo enriquecido com aminoácidos em feijão-comum.** 2010. 134 f.. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

TAWATA, N. **Determinação de carotenóides em alimentos brasileiros *in natura*, processados e preparados para a tabela nacional de composição de alimentos.** 2010. 77f.. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

TEIXEIRA, L. J. Q.; POLA, C. C.; JUNQUEIRA, M. S.; MENDES, F. Q.; JUNIOR S. R. **Cenoura (*Daucus Carota*): Processo e Composição Química.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.

TONIAZZO, T. **Dispersões de lipossomas encapsulando  $\beta$ -caroteno: caracterização, estabilidade físico-química e incorporação em iogurte.** 2013. 120f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

UBBINK, J.; KRUGER, J. Physical approaches for the delivery of active ingredients in foods. **Food Science and Technology**, 17, 244-254, 2006.

VARGAS, M.; PASTOR, C.; CHIRALT, A.; MCCLEMENTS, D.J.; GONZÁLEZMARTÍNEZ, C. Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. **Food Science and Nutrition, Philadelphia**, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.

ZANATTA, C. L.; SCHLABITZ, C.; ETHUR, E. M. Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 459-456, 2010.